



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS
Y ENERGÍA

Trabajo fin de grado



**Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares
fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular**

**Feasibility study for the implementation of photovoltaic solar panels
connected to the grid in a single-family home**

Para acceder al título de:

Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos

Autor: Raúl Martínez Terán

Director: Juan Carcedo Haya

Convocatoria: octubre

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer y dedicar este trabajo de fin de grado a toda la gente que ha creído en mí y me ha apoyado en estos años.

A toda mi familia, pero sobre todo a mis padres que me han inculcado los valores de sacrificio y trabajo que me llevaron a estudiar esta carrera y no me quitaron su apoyo los primeros años cuando los resultados no eran tan buenos. A mi hermana Iciar, por ser la primera ingeniera de la casa mostrándome el camino y por echarme una mano todos estos años cuando la he necesitado.

A todos mis amigos que alguna que otra vez han leído “No salgo que tengo que estudiar”.

A mis compañeros del Club Valle de Buelna MTB por ser casi una segunda familia, todo no va a ser estudiar. Pero sobre todo a Raúl y a Saúl que han estado en las buenas, en las mejores y en las no tan buenas ya sea en Cabezón, en Madrid, en Lisboa o en Mompía.

A mis profesores de particular porque sin ellos no hubiera sido posible.

A Diego, Rosi y Pedro por tratarme como parte de su familia estos dos últimos cursos y alegrarse cada vez que aprobaba un examen tanto o más que yo.

A todas las personas que componen la Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía, profesores, personal y en especial a mis compañeros por recorrer este camino conmigo.

Quiero hacer una mención especial a Dani y a Verónica por confiar en mí y darme todas las facilidades posibles.

Por último, a Juan Carcedo Haya por dirigir este trabajo y aceptar el tema que le propuse sin poner ninguna objeción.

Raúl Martínez Terán

Los Corrales de Buelna, 05/09/2020

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

Palabras clave: autoconsumo, energía, solar, fotovoltaica, panel solar, célula solar fotovoltaica, red eléctrica.

Key words: self-consumption, energy, solar, photovoltaic, solar panel, photovoltaic solar cell, electricity grid.

Resumen:

En este trabajo se desarrolla el estudio de viabilidad de una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo en una vivienda particular. Es importante remarcar que la vivienda seguirá conectada a la red en todo momento, lo que permitirá que se viertan los excedentes de energía producidos en la instalación en los momentos de máxima producción y que serán compensados económicamente por la compañía comercializadora. Además, esta conexión servirá como respaldo para poder consumir electricidad de la red en los momentos en que la producción de la instalación sea inferior al consumo.

La vivienda tiene contratada una potencia de 5.750 kW y se ha determinado que teniendo en cuenta sus necesidades y las características del tejado la instalación estará compuesta por 10 módulos solares fotovoltaicos de 315W cada uno, colocados en dos filas paralelas de 5 módulos cada una. La potencia pico de la instalación será de 3.15 kW. Además, la instalación contará con un inversor con una potencia máxima de 3600W.

Se estima que la instalación produzca unos 3609,2 kWh al año de los cuales 1263,22 serán auto consumidos directamente y el resto será vertido a la red eléctrica por lo que el cliente recibirá una compensación económica. Teniendo en cuenta este beneficio y el coste de la energía que el cliente deberá seguir consumiendo de la red, se calcula un ahorro anual de 393,79 euros.

El presupuesto final para llevar a cabo la instalación asciende a 7550,88 euros, pero para calcular el periodo de amortización se tendrá en cuenta la presumible ayuda económica en forma de subvención por parte del gobierno de Cantabria que se estima sobre 3000 euros.

Conclusiones: Teniendo en cuenta el ahorro anual que proporcionará la instalación, el coste de llevarla a cabo y la ayuda económica por parte del gobierno se estima un periodo de amortización de 11,56 años. Cuando la instalación cumpla los once años y medio su coste estará amortizado y a partir de entonces supondrá como mínimo un ahorro anual de 393.79 euros (teniendo en cuenta que se espera que el precio de la electricidad continúe subiendo este ahorro será mayor). Por lo tanto, este proyecto es totalmente viable desde el punto de vista económico además de que permitirá contribuir al freno del cambio climático.

Abstract:

This document develops the feasibility study of a photovoltaic solar installation for self-consumption in a private home. It is important to note that the home will remain connected to the electric grid, which will allow the energy excedents produced in the installation to be dumped at times of maximum production and that energy will be economically compensated by the marketing company. In addition, this connection will serve as a backup to be able to consume electricity from the grid at times when the production of the installation is lower than consumption.

The house has contracted a power of 5,750 kW and it has been determined that taking into account its needs and the characteristics of the roof, the installation will be composed of 10 photovoltaic solar modules of 315W each, placed in two parallel strings of 5 modules each. The peak power of the installation will be 3.15 kW. In addition, the installation will have an inverter with a maximum power of 3600W.

It is estimated that the installation will produce about 3,609.2 kWh per year, of which 1,263.22 will be directly consumed by itself and the rest will be discharged into the electricity grid for which the customer will receive financial compensation. Considering this benefit and the cost of the energy that the customer must continue to consume from the network, an annual saving of 393.79 euros is calculated.

The final budget to carry out the installation amounts to 7,550.88 euros, but to calculate the amortization period, the presumed financial aid in the form of a subsidy from the Cantabrian government will be considered, which is estimated at over 3,000 euros.

Conclusions: Considering the annual savings that the installation will provide, the cost of carrying it out, and the financial aid from the government, a payback period of 11.56 years is estimated. When the installation is eleven and a half years old, its cost will be amortized and from then on it will mean an annual saving of at least 393.79 euros (taking into account that it is expected that the price of electricity will continue to rise, this saving will be greater). Therefore, this project is totally viable from an economic point of view, as well as contributing to curbing climate change.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

ÍNDICE

1.MEMORIA

1.1 Memoria descriptiva

- 1.1.1 Introducción y objeto del proyecto (página 10)
- 1.1.2 Emplazamiento (página 11)
- 1.1.3 Características del autoconsumo (página 12)
- 1.1.4 Estudio de alternativas y matriz de decisión (página 13)
- 1.1.5 Alcance del proyecto (página 15)
- 1.1.6 Demanda eléctrica de la vivienda (página 16)
- 1.1.7 Introducción a la energía solar fotovoltaica (página 16)
- 1.1.8 Ventajas e inconvenientes de la energía solar fotovoltaica (página 18)
- 1.1.9 Fundamentos de las células fotovoltaicas (página 20)
- 1.1.10 Tipos de células fotovoltaicas (página 29)
- 1.1.11 Radiación solar (página 30)
- 1.1.12 Normativa y legislación aplicable (página 32)
- 1.1.13 Elementos de la instalación (página 34)
- 1.1.14 Tramitación administrativa (página 39)
- 1.1.15 Periodo de amortización (página 40)

1.2 Anejos a la memoria

- 1.2.1 Dimensionamiento (página 42)
- 1.2.2 Características técnicas de los elementos de la instalación (página 47)
- 1.2.3 Ahorro energético y económico (página 54)

2.PLANOS

- 2.1 Alzado sur (página 59)
- 2.2 Planta tejado (página 60)
- 2.3 Distribución módulos (página 61)

3. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES

- 3.1 Objeto (página 62)
- 3.2 Condiciones generales (página 62)
- 3.3 Componentes y materiales (página 62)
- 3.4 Mantenimiento (página 68)

-3.5 Garantías (página 69)

4. PRESUPUESTO.

-4.1 Mediciones (página 70)

-4.2 Cuadros de precios N°1 y N°2 (página 71)

-4.3 Presupuestos parciales (página 73)

-4.4 Presupuesto final (página 74)

5. BIBLIOGRAFÍA. (página 75)

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1. Localización de la vivienda (página 11)
- Figura 1.2. Efecto fotoeléctrico en función del tipo de luz (página 17)
- Figura 1.3. Bandas energéticas de la célula solar (página 18)
- Figura 1.4. Electrones compartidos por el silicio (página 20)
- Figura 1.5. Silicio tipo N y tipo P (página 21)
- Figura 1.6. El efecto fotoeléctrico (página 22)
- Figura 1.7. Efecto de la luz sobre una plancha metálica (página 22)
- Figura 1.8. Esquema del circuito eléctrico del panel solar (página 23)
- Figura 1.9. Curva de potencia de un panel solar (página 24)
- Figura 1.10. Voltaje e intensidad de máxima potencia (página 25)
- Figura 1.11. Efecto de la temperatura en las células solares (página 26)
- Figura 1.12. Componentes de un panel solar fotovoltaico (página 28)
- Figura 1.13. Irradiación solar sobre Los Corrales de Buelna (página 31)
- Figura 1.14. Eficiencia de un inversor (página 35)
- Figura 1.15. Esquema disposición con inversor central (página 36)
- Figura 1.16. Esquema inversor para cada módulo (página 36)
- Figura 1.17. Perfil de aluminio (página 38)
- Figura 1.18. Sistema de montaje en un solo clic (página 38)
- Figura 1.19. Valores estimados de producción energética solar (página 44)
- Figura 1.20. Producción de energía por meses (página 45)
- Figura 1.21. Irradiación solar por meses (página 45)
- Figura 1.22. Esquema inversor (página 50)
- Figura 1.23. Dimensiones del inversor (página 53)

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1.1. Matriz de decisión (página 15)
- Tabla 1.2. Consumo de la vivienda (página 16)
- Tabla 1.3. Energía y radiación solar mensual (página 46)
- Tabla 1.4. Especificaciones técnicas del panel solar (página 49)
- Tabla 1.5. Especificaciones técnicas del inversor (página 52)
- Tabla 1.6. Consumo mensual (página 55)
- Tabla 1.7. Producción mensual (página 55)
- Tabla 1.8. Energía autoconsumida (página 56)
- Tabla 1.9. Energía consumida de la red y coste económico (página 56)
- Tabla 1.10. Energía vertida a la red y compensación económica (página 57)
- Tabla 1.11. Ahorro económico (página 58)

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

1.MEMORIA

1.1 MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1.1 Introducción y objeto del proyecto

El presente trabajo de fin de grado aborda el estudio de viabilidad de la implantación de paneles solares fotovoltaicos en el tejado de una vivienda unifamiliar situada en Los Corrales de Buelna, Cantabria. Además de contar con la instalación de autoconsumo, la vivienda seguirá conectada a la red de distribución de electricidad. Esto servirá como respaldo para poder seguir contando con electricidad en los momentos en que los paneles fotovoltaicos no produzcan tanta energía como esté demandando la vivienda permitiendo, además, que en los momentos donde se produzcan excedentes porque la producción es mayor que el consumo se pueda volcar a la red.

Cabe destacar la gran importancia de apostar por las energías cien por cien renovables en este momento en el que el cambio climático está tan avanzado y el gobierno ha adquirido compromisos como los aceptados en el protocolo de Kyoto o el pacto verde europeo (Green deal) dicho pacto es una estrategia de crecimiento destinada a transformar la Unión Europea de manera que se elimine la emisión total de gases de efecto invernadero para el año 2050. De esta manera se pretende convertir Europa en una comunidad con prosperidad y con mayores oportunidades, separando los conceptos de crecimiento económico y generación de residuos. De dichos compromisos se han derivado la implantación de una serie de políticas de reducción de contaminantes y de apoyo a las energías renovables. Recientemente (27/09/19) el gobierno de España, tras la propuesta del Ministerio de Transición ecológica, ha aprobado el primer Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica, el cual, establece cincuenta y siete medidas que, en conjunto con las políticas climáticas y energéticas definidas en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, marcan unos ambiciosos objetivos para el año 2030 de reducción de contaminantes, pretendiendo reducir: un 92% la emisión de dióxido de azufre (SO₂), un 66% la emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x), un 30% los compuestos orgánicos volátiles no metánicos, un 21% en amoníaco (NH₃) y un 50% en partículas finas. [1]

Para alcanzar estos niveles de disminución de la contaminación es vital aumentar el porcentaje de energías renovables en nuestro país. Por lo tanto, este proyecto es de completa actualidad y, en el caso de llevarse a cabo, proporcionará un beneficio a toda nuestra sociedad.

Este estudio trata de determinar el tipo de instalación, los componentes por los que estará formada y la disposición de estos para cumplir, de la manera más optimizada posible las necesidades energéticas de la casa, dentro de las posibilidades climáticas de la zona y el espacio disponible. Además de comprobar si el ahorro económico que proporcionará el autoconsumo eléctrico, en este caso, es lo bastante grande como para que el periodo de amortización de la inversión inicial sea lo suficientemente breve para que esté justificada

la ejecución de la obra. Se deben tener en cuenta también las ayudas económicas que proporciona el gobierno regional para este tipo de instalaciones.

1.1.2 Emplazamiento

La vivienda se encuentra en la calle Galicia junto a la carretera Nacional 611 en Somahoz, localidad situada en el municipio de Los Corrales de Buelna cuyo código postal es 39400, comunidad autónoma Cantabria. Su altitud es 110 msnm



Figura 1.1. Localización de la vivienda (Fuente <https://www.google.es/mapsoooglemaps>)

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

1.1.3 Características del autoconsumo

Según el Real Decreto-Ley 244/2019 por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Se define el autoconsumo como el consumo de energía eléctrica por parte de uno o varios consumidores que provenga de instalaciones de producción próximas a las de consumo y que tengan relación con estos y elimina el famoso “impuesto al sol” decretando que la electricidad auto consumida que provenga de fuentes totalmente renovables, a través de la cogeneración o mediante el reciclaje de residuos estará eximida de cualquier tipo de impuesto o peaje.

Hay dos tipos de autoconsumo:

-Instalación de autoconsumo eléctrico aislada: Las instalaciones de este tipo se encuentran conectadas en una red de consumo propia, pero no disponen de conexión a la red de transporte o distribución pública. Por lo que es un requisito necesario el disponer de almacenamiento de energía en baterías para poder disponer de suministro en los momentos en los que no se esté produciendo energía.

-Instalación de autoconsumo conectada a la red (el caso que nos atañe): Las instalaciones de este tipo están conectadas en una red propia de consumo, pero también están conectadas a la red de distribución pública. Por lo tanto, en el momento en que la vivienda no produzca suficiente energía puede consumir de la red como cualquier otra vivienda. Dentro de esta categoría hay dos tipos, producción con excedentes o sin excedentes.

En el segundo caso (el de esta instalación), cuando se produce más energía de la que es requerida en ese momento por la vivienda, el excedente es vertido a la red y la comercializadora energética paga un precio por esa electricidad al cliente. El precio es acordado previamente por las dos partes como compensación económica, pero este importe siempre es mucho menor que el coste que el cliente tiene que pagar a la comercializadora cuando necesita consumir energía de la red. Por eso, lo realmente interesante, no es sobredimensionar la instalación para producir mucha energía y verter a la red. El escenario ideal se produce al tener la mayor tasa de autoconsumo posible, de esta forma, obtendremos el mayor ahorro en la factura de la luz.

En el primer caso es necesario instalar un sistema antivertido a la red y es recomendable la instalación de un sistema de baterías para aprovechar los momentos en los que se produzcan excedentes de energía. [2]

1.1.4 Estudio de alternativas y matriz de decisión

Antes de tomar la decisión de implantar paneles solares fotovoltaicos se llevó a cabo una comparativa entre distintos tipos de energía renovable que se consideraron instalar para posteriormente elegir cuál encajaría mejor en las necesidades de la casa.

Se compararán la energía solar fotovoltaica, la energía solar térmica, la energía geotérmica y la aerotermia. La forma elegida para realizar la comparación es una matriz de decisión. Se evaluarán las diferentes opciones contempladas en función de distintos aspectos de interés con un sistema de puntuación.

A continuación, se llevará a cabo un breve resumen donde serán recogidos los principales aspectos de las distintas soluciones contempladas para la aplicación del autoconsumo en la vivienda (La energía solar fotovoltaica será tratada con posterioridad y en mayor profundidad por ser la seleccionada para el proyecto en cuestión).

Energía solar térmica: Es un tipo de energía que consiste en la transformación de la energía proveniente del sol en energía térmica. Para viviendas se utilizan instalaciones de baja temperatura ($<65^{\circ}\text{C}$). La energía térmica es utilizada directamente. Los elementos principales de este tipo de instalaciones son los colectores solares.

Un colector o captador solar es un tipo de panel solar que consigue transformar la energía proveniente del sol en energía térmica aprovechable, en lugar de eléctrica como los paneles solares fotovoltaicos. El principio de funcionamiento de los colectores es sencillo: cualquier cuerpo que se encuentre expuesto a la radiación solar recibe un flujo energético que lo calienta y, por lo tanto, hace que aumente su temperatura. Este aumento de la temperatura implica también un aumento de la energía interna. Si refrigeramos el captador solar haciendo que un fluido pase por el interior del captador, se aprovecha este calor, con lo que se consigue que una parte de la energía captada se transmita hacia el fluido refrigerante en forma de energía útil. El resto de energía se pierde en forma de radiación desde el colector solar térmico hacia el ambiente exterior. En este caso, la temperatura de trabajo es siempre inferior a la de equilibrio. La energía renovable aprovechable se extrae del colector solar mediante un fluido caloportador, que generalmente está formado por una mezcla de agua con anticongelante e inhibidores de la corrosión. Actualmente hay cinco tipos de colectores solares en el mercado en función del tipo de uso para el que estén destinados:

-Colectores solares planos: este tipo de captadores solares son los más utilizados en la actualidad. Permiten obtener aumentos de temperatura de 60 grados centígrados con un coste económico reducido. Son utilizados en plantas solares térmicas de baja temperatura.

-Colectores solares térmicos no vidriados: Este tipo de colector es utilizado frecuentemente para calentar el agua de piscinas. El aumento de temperatura que se consigue es inferior con respecto al caso anterior, en torno a 30 grados centígrados. Este tipo de colector es más económico que los captadores solares planos.

-Colectores solares de vacío: Están formados por tubos de metal que recubren otro tubo sellado que contiene el fluido de trabajo dejando entre ambos una cámara que actúa como aislante. Consiguen un rendimiento muy elevado, pero su precio también es elevado.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

-Colectores solares con sistemas de concentración de la radiación solar: Este tipo de colectores es utilizado para instalaciones que requieren temperaturas superiores. Se utilizan paneles solares en formas de parábola o semi-cilíndrica.

-Colectores solares con sistema de seguimiento al sol: Este tipo de colector es capaz de variar su posición e inclinación a lo largo del día lo que permite mantener una posición perpendicular a la radiación solar recibida en todo momento. [3]

Energía minieólica: La energía minieólica consiste en el aprovechamiento de los recursos eólicos gracias a la utilización de aerogeneradores de potencia inferior a los 100 kW. Los molinos que utilicen esta tecnología deben tener un área de barrido menor de 200 m². Según indica la normativa internacional.

El funcionamiento de esta técnica se basa en el aprovechamiento de la energía cinética del viento en los momentos que dicha energía hace que las aspas del aerogenerador se muevan a una velocidad por encima de 15 km/h. Ese movimiento consigue que el rotor del generador que hay dentro del molino gire, lo que permite transformar la energía cinética (la del movimiento que se produce en las aspas) en energía eléctrica aprovechable. [4]

Aeroterminia y suelo radiante: Un sistema de aeroterminia está formado por una bomba de calor cuya función es aportar refrigeración cuando el tiempo es caluroso, calefacción en invierno y, si se desea, puede suministrar agua caliente durante todo el año. El funcionamiento de la bomba de calor consiste en extraer la energía ambiental contenida en la temperatura del aire, incluso cuando la temperatura es inferior a cero y la transfiere a la habitación o al agua corriente. La principal ventaja que aporta esta tecnología es que la energía es “gratuita”, sólo se paga por el consumo eléctrico, que puede llegar a ser tan solo el 22% de la energía aportada para una bomba de calor con un rendimiento de 4,5.

Esto se consigue gracias al ciclo termodinámico que utiliza un gas refrigerante comprimido a baja temperatura que permite extraer calor del aire del exterior de la vivienda.

Lo ideal de la aeroterminia es combinarla con suelo radiante aprovechando el calor que esta bomba puede transmitir a un fluido. El suelo radiante consiste en un tipo de calefacción que emplea uno de los paramentos de un local o habitación como fuente emisora de calor. El emisor puede ser cualquiera de los paramentos del emplazamiento a calefactar (suelo, paredes o techo), pero lo más corriente es instalarlo en el suelo.

Como la superficie del emisor suele ser muy extensa sobre todo en comparación con los sistemas de calefacción convencionales como los radiadores (se trata de todo el suelo de la habitación) se pueden emplear bajas temperaturas, esto se debe a que el intercambio de calor depende de la diferencia de temperaturas entre el foco caliente y la habitación y de la superficie del emisor (a mayor superficie de emisión será necesaria una diferencia de temperaturas menor). Algunas normativas limitan esta temperatura del suelo a 28 o 29 °C en lugar de las altas temperaturas utilizadas en los sistemas de calefacción convencionales (generalmente sobre 60°C). Permitiendo calefactar un local o una casa sin tener que recurrir a altas temperaturas con las necesidades energéticas que esto supone.

RAÚL MARTÍNEZ TERÁN

Finalmente, para llevar a cabo la matriz de decisión, se ordenarán los tipos de energía en función de cuál de ellos cumple mejor el aspecto a estudiar y se colocarán del 1 al 4; siendo la energía que tenga el número 4 la que mejor cumpla esa característica. Por ejemplo, si comparamos la energía más económica. La número 4 será la más barata y la número 1 será la que tenga un coste mayor. Al final de la comparativa la energía con una puntuación más alta será la elegida.

| | Inversión inicial | Ahorro económico | complejidad de la instalación | Impacto visual | TOTAL |
|-------------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|----------------|-------|
| Solar fotovoltaica | 4 | 4 | 4 | 3 | 15 |
| Solar térmica | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| minieólica | 2 | 1 | 2 | 1 | 6 |
| Aeroterminia y suelo radiante | 1 | 2 | 1 | 4 | 8 |

Tabla 1.1. Matriz de decisión (elaboración propia)

Teniendo en cuenta los aspectos comparados, la elección final es realizar un estudio de viabilidad para la implantación de energía solar fotovoltaica, siendo esta además la alternativa preferida por parte de los dueños de la vivienda.

1.1.5 Alcance del proyecto

Este proyecto pretende encontrar la mejor alternativa para aplicar las energías renovables en esta vivienda, en este caso, como se demuestra en el apartado anterior, se trata de energía solar fotovoltaica.

Una vez decidido el tipo de instalación, se determinará la demanda energética de la vivienda, a partir de esta, se calculará cuáles son los elementos necesarios en la instalación, su emplazamiento idóneo. La normativa que se deberá tener en cuenta antes de llevar a cabo la obra y finalmente se llevará a cabo un minucioso estudio económico para poder determinar el tiempo de amortización y la viabilidad del proyecto.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

1.1.6 Demanda eléctrica de la vivienda.

La vivienda tiene contratada una potencia de 5.750 kW y el consumo mensual de energía obtenido en las facturas de electricidad durante un año se muestra en la siguiente tabla:

| | may-19 | jun-19 | jul-19 | ago-19 | sep-19 | oct-19 | nov-19 | dic-19 | ene-20 | feb-20 | mar-20 | abr-20 | Consumo total |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| Consumo (kW/h) | 317 | 256 | 219 | 244 | 326 | 360 | 376 | 604 | 813 | 455 | 368 | 341 | 4679 |

Tabla 1.2. Consumo de la vivienda (elaboración propia)

Como se puede comprobar, el consumo anual es de 4679 kW, valor que tomaremos como referencia para el dimensionamiento de la instalación, es decir, el cálculo del número de módulos necesarios, así como su potencia unitaria.

1.1.7 Introducción a la energía solar fotovoltaica

Cada día, el sol vierte una cantidad de energía sobre el planeta Tierra diez mil veces superior que el consumo diario en todo el mundo. Es importante destacar que las condiciones geográficas y climatológicas con las que cuenta España son adecuadas para poder aprovechar este tipo de energía.

Durante el año 2018 de toda la electricidad producida en España el 36,8 % provenía de fuentes totalmente renovables y el 58,6 % fue producida sin emisiones de dióxido de carbono.

La tendencia del parque de generación eléctrica español es ser cada vez más renovable. En el año 2019, en el mix energético español, de la potencia total, se registró un aumento del diez por ciento en la potencia proveniente de fuentes totalmente renovables, habiéndose instalado cinco mil nuevos megavatios de energía verde. Esto permite que las energías renovables representen ya el 49,3 % de la capacidad de producción eléctrica en nuestro país, que cuenta con más de 108.000 MW, según la información estimada por Red Eléctrica de España en el informe de su cierre para el año 2019.

En el año 2019 había más de 7800 MW de energía solar fotovoltaica instalados en nuestro país, este valor posicionó este tipo de energía como la que más había incrementado su presencia en el parque de producción eléctrica de España, con un 66 % de aumento respecto al año anterior. [5]

El fundamento de la energía solar fotovoltaica es el aprovechamiento de la radiación solar a través de su transformación directa en energía eléctrica. Esto se consigue gracias al efecto fotoeléctrico. Cabe destacar que la energía solar fotovoltaica tiene una gran variedad de aplicaciones. Aunque, generalmente, lo primero que nos viene a la cabeza al pensar en este tipo de energía es en la producción de electricidad para un edificio, vivienda o en una escala media e incluso grande, muchos objetos cotidianos aprovechan este tipo de energía como por ejemplo calculadoras, relojes, linternas...

El efecto fotoeléctrico fue descubierto en el año 1887 por el físico alemán Heinrich Hertz. Hertz logró deducir que el arco eléctrico que se forma entre dos electrodos conectados a

corriente en alta tensión logra alcanzar mayores distancias si es iluminado por luz ultravioleta, por el contrario, si no se ilumina las distancias son mucho menores. La explicación a este suceso se debe al fenómeno en el que las partículas de luz, también llamadas fotones, extraen los electrones de un material a través de impactos contra la superficie. Este choque provoca un movimiento en los electrones que genera una corriente eléctrica.

En el año 1905, otro físico, en este caso el alemán Albert Einstein centró sus estudios en este tema, y fue capaz de deducir multitud de propiedades de la luz, percatándose, por ejemplo, que el brillo que tiene una fuente luminosa depende del número de fotones que salen de ella, es decir, a mayor número de fotones, más brillo o luminosidad tendrá la fuente luminosa. Pero también dedujo que, un mayor número de fotones no implica que éstos tengan una mayor energía. La energía de los fotones depende de su frecuencia de vibración. Las luces de baja frecuencia como puede ser una luz roja no consiguen extraer electrones porque su energía es muy inferior a la de una luz de alta frecuencia como la luz ultravioleta. Este descubrimiento explicó el motivo al que se debe que la luz ultravioleta sea capaz de extraer electrones de la superficie de un metal (Si la luz tiene poca intensidad, el haz extraerá pocos electrones y si la luz es muy extensa el número de electrones “arrancados” será superior, por el contrario, las luces de baja frecuencia como la luz roja no son capaces de extraer electrones, aunque el haz de luz cuente con un brillo y una potencia grandes).

Gracias a este descubrimiento, Albert Einstein recibió un premio Nobel.

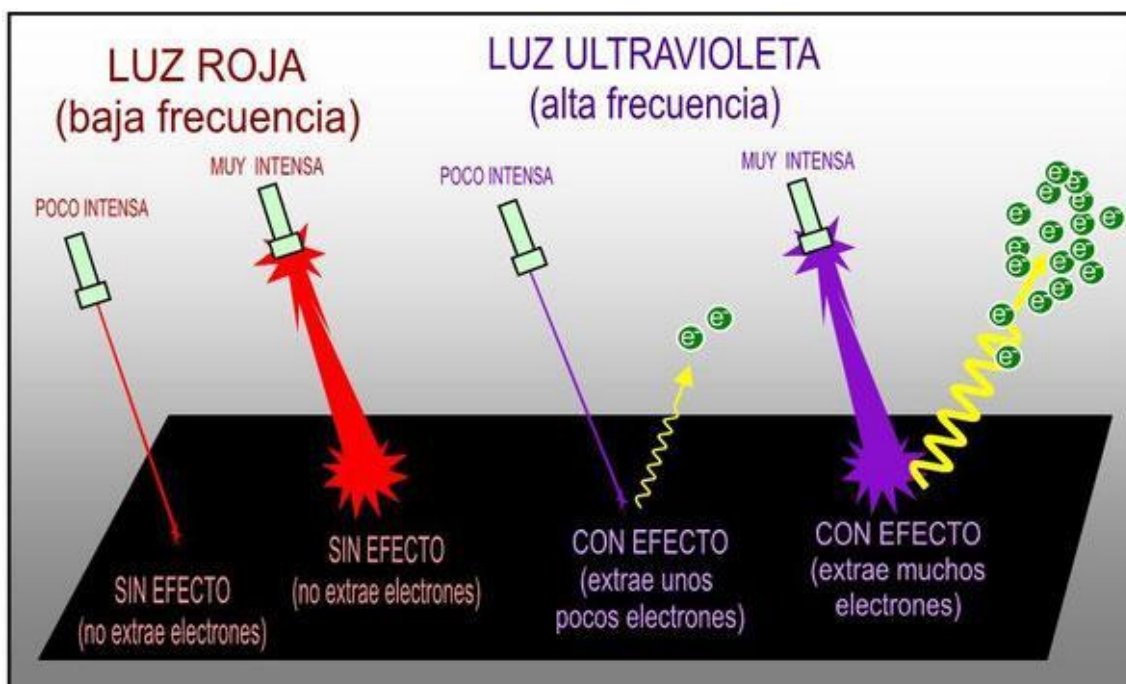


Figura 1.2. Efecto fotoeléctrico en función del tipo de luz.
(Fuente: <http://fisicap4.org/>)

Cuando los fotones provenientes del sol alcanzan la superficie del módulo solar fotovoltaico, tres situaciones diferentes pueden ocurrir en función del tipo de la energía que llegue a la superficie del módulo, esto dependerá de la longitud de onda que tenga la luz en el espectro solar:

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

-Que los fotones atraviesen la célula solar fotovoltaica. Este fenómeno ocurre cuando los fotones tienen una energía que está por debajo de la de “la banda prohibida” o “brecha energética” (en inglés conocida como “band gap” del material. La banda prohibida, se define como la diferencia de energía existente entre la parte superior de la banda de valencia y la parte inferior de la banda de conducción.

-Que los fotones sean reflejados por la superficie del módulo solar fotovoltaico. Esta situación varía en función del material del que esté formada la superficie del módulo solar fotovoltaico y sus características de reflexión.

-Que los fotones sean absorbidos por la célula solar fotovoltaica. Este es el escenario ideal. Pero solo los fotones con suficiente energía son capaces de liberar electrones de sus enlaces atómicos.

Cuando la energía de los fotones absorbidos por el panel solar es superior a la de la brecha energética se genera calor. [6]

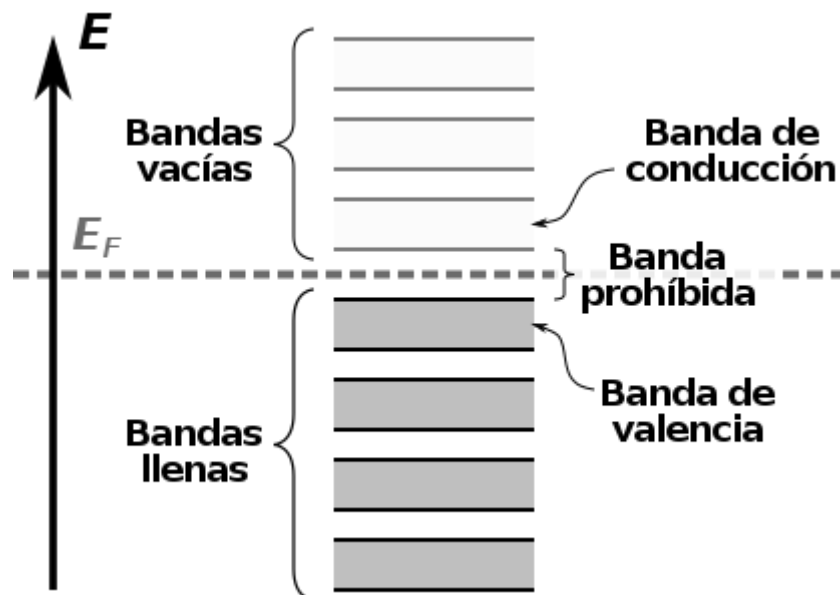


Figura 1.3. Bandas energéticas de la célula solar
(Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Banda_de_valencia)

-1.1.8 Ventajas e inconvenientes de la energía solar fotovoltaica

Las principales ventajas de la energía solar fotovoltaica son:

-Se trata de un recurso totalmente ilimitado ya que procede de una fuente de energía cien por cien renovable.

-Es una fuente de energía gratuita. Mientras que la producción de energía con el uso de combustibles fósiles tiene un elevado coste debido al alto precio de este tipo de combustibles. El aprovechamiento de los rayos del sol es totalmente gratuito.

RAÚL MARTÍNEZ TERÁN

- No produce emisiones contaminantes o nocivas. Este hecho es de vital importancia puesto que los medios tradicionales de producción eléctrica son unas de las principales fuentes de contaminación en el planeta.
- Los costes de operación son muy bajos.
- El mantenimiento requerido es sencillo y con un coste reducido.
- Se puede integrar en construcciones ya existentes sin necesidad de grandes obras o instalaciones.
- La vida útil de una instalación solar es de 25 años mínimo, aunque hay muchas que superan los 30 años y siguen funcionando. El fabricante de los paneles solares garantiza el 90% de producción durante los 10 primeros años y un mínimo de 80% a los 25 años.
- Se pueden hacer módulos de prácticamente cualquier tamaño, lo que permite que se puedan instalar en casi todos los tipos de estructura.
- Disminuye la dependencia energética de nuestro país. Minimizando la cantidad de energía importada.
- El transporte del material necesario para una instalación de energía fotovoltaica es sencillo debido al tamaño reducido de los componentes necesarios. (Gran ventaja en comparación por ejemplo con la energía eólica, cuyos elementos de gran tamaño presentan dificultades para su transporte desde el punto de fabricación hasta el lugar donde serán instalados).
- El coste de este tipo de tecnología se está reduciendo notablemente con el paso de los años. Esto es debido a el avance de la tecnología y a las grandes inversiones en investigación y desarrollo por parte de las empresas especializadas del sector.
- Es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo para zonas donde no llega la red eléctrica y por lo tanto no podrían disponer de electricidad.
- Los módulos solares fotovoltaicos son limpios, silenciosos y no sobresalen notablemente de la estructura existente previamente por lo que pueden ser instalados prácticamente en cualquier lugar sin que supongan perjuicios al entorno.
- Se trata de un tipo de inversión económica bastante segura y que entraña pocos riesgos puesto que la producción esperada de las instalaciones es calculable por lo que se puede conocer la rentabilidad de la inversión.
- El valor de un inmueble que cuente con una instalación de autoconsumo se aumentará en gran medida.
- Los fabricantes garantizan la resistencia de la instalación a las diferentes inclemencias meteorológicas como las altas y bajas temperaturas, tormentas, granizo, lluvia o humedad y además si algún fenómeno de este tipo causa daños suelen estar incluidos en las coberturas del seguro de la vivienda.
- Se puede obtener beneficio económico en el caso de producir excedentes eléctricos mediante la venta a la compañía comercializadora.
- En cualquier momento puede incrementarse la potencia instalada de la instalación añadiendo nuevos módulos si el espacio disponible lo permite.

En el lado contrario. Las principales desventajas de las instalaciones solares fotovoltaicas son:

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

- La inversión inicial es grande. Esto se debe a los altos costes de los materiales necesarios, así como los asociados a su instalación.
- La producción eléctrica no se puede garantizar. Depende totalmente de la climatología.
- Los lugares más apropiados para este tipo de instalación, es decir, dónde hay una mayor radiación solar, por norma general, son lugares desérticos y alejados de las ciudades.
- Para el aprovechamiento de energía a gran escala se requieren grandes extensiones de terreno.
- Con la tecnología actual, los elementos que permiten almacenar energía son todavía demasiado caros y no tienen el grado de fiabilidad deseable. [7]

1.1.9 Fundamentos de las células fotovoltaicas

Las células fotovoltaicas, también conocidas como fotoeléctricas, son unos dispositivos electrónicos que son agrupados para formar los paneles solares fotovoltaicos. Las células fotoeléctricas se componen de materiales con propiedades semiconductoras (La mayoría de las células son construidas a partir de silicio monocristalino). Esta propiedad permite a las células aprovechar la energía que proviene del sol en forma de fotones gracias a el efecto fotoeléctrico, introducido en el apartado 1.1.7

Cada átomo de silicio tiene cuatro electrones de valencia que en estado puro se enlazan con los electrones de los otros átomos que le rodean.

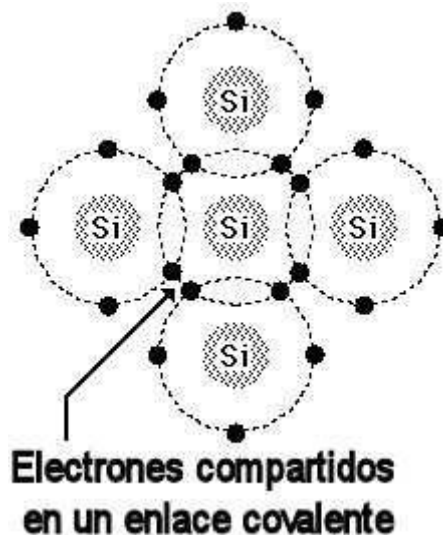


Figura 1.4. Electrones compartidos por el silicio
(Fuente: <https://www.blogodisea.com/aislantes-conductores-semiconductores.html>)

Por lo tanto, en estado puro el Silicio es prácticamente aislante ya que no tiene electrones en estado “libre” que lo permitan actuar como un metal conductor. Para poder conseguir el efecto fotoeléctrico cada célula fotovoltaica está formada por dos capas que han sido dopadas previamente con otros elementos químicos.

RAÚL MARTÍNEZ TERÁN

En una de las capas se introducen elementos químicos con el objetivo de incrementar el número de electrones presentes, la valencia de estos elementos debe ser 5, por ejemplo, el fósforo, el arsénico o el antimonio. Cuando el número de electrones se incrementa, la capa se convierte en tipo “n”, es decir, una capa en la que hay disponibles electrones libres.

En la otra capa, se introducen elementos que aumenten el número de “huecos”, estos elementos químicos deben tener una valencia con valor 3 como el boro, el galio, el indio o el aluminio. Esta capa pasa a ser tipo “p” con huecos libres.

Como los átomos que componen ambas capas son neutros, estas también lo serán.

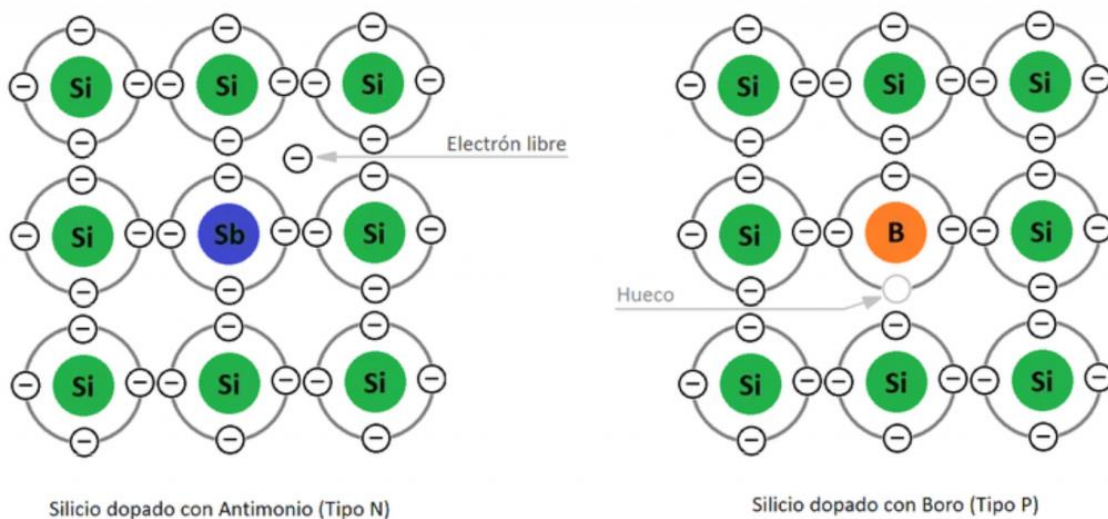


Figura 1.5. Silicio tipo N y tipo P

(Fuente: <https://www.helioesfera.com/diferencia-entre-efecto-fotoelectrico-y-efecto-fotovoltaico/>)

En las células fotovoltaicas solares estas capas se unen formando una unión tipo P-N. En la zona que se encuentra próxima a la unión P-N los electrones y huecos libres se recombinan cambiando su posición. Los electrones se desplazan de la capa N a la P. Por lo tanto, el hueco libre pasará a estar en la capa tipo N. Este movimiento desencadena la producción un campo eléctrico en el que surge una carga positiva en la capa N y una carga negativa en la capa P.

Cuando la radiación lumínica procedente del sol incide sobre las células fotovoltaicas en forma de fotones, un fotón es capaz de “arrancar” un electrón, creando así un electrón en estado libre y un hueco que se desplazan en dirección opuesta. El electrón libre es atraído por la carga positiva que se había generado en la región n. A continuación, el hueco que estaba previamente relleno por el electrón lo ocupa otro nuevo electrón que procede de la capa P, por lo tanto, el hueco estará cada vez más desplazado hacia la capa p. Debido a este efecto, si convertimos la célula en un circuito cerrado, la corriente eléctrica producida circulará a través del circuito y podrá ser aprovechada.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

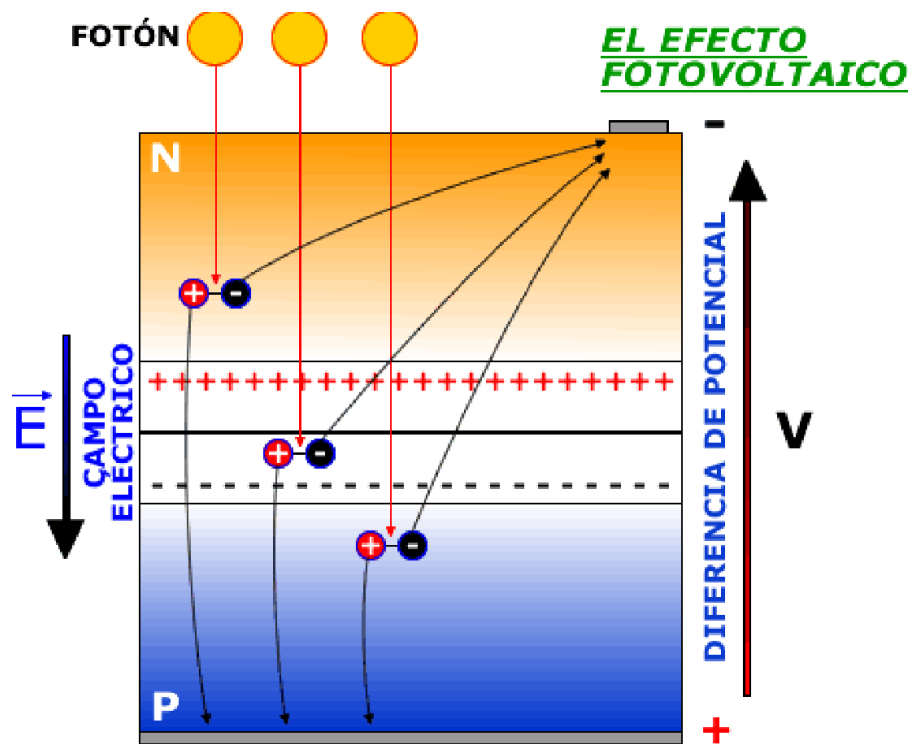


Figura 1.6. El efecto fotovoltaico

(Fuente:

http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_03.htm/)

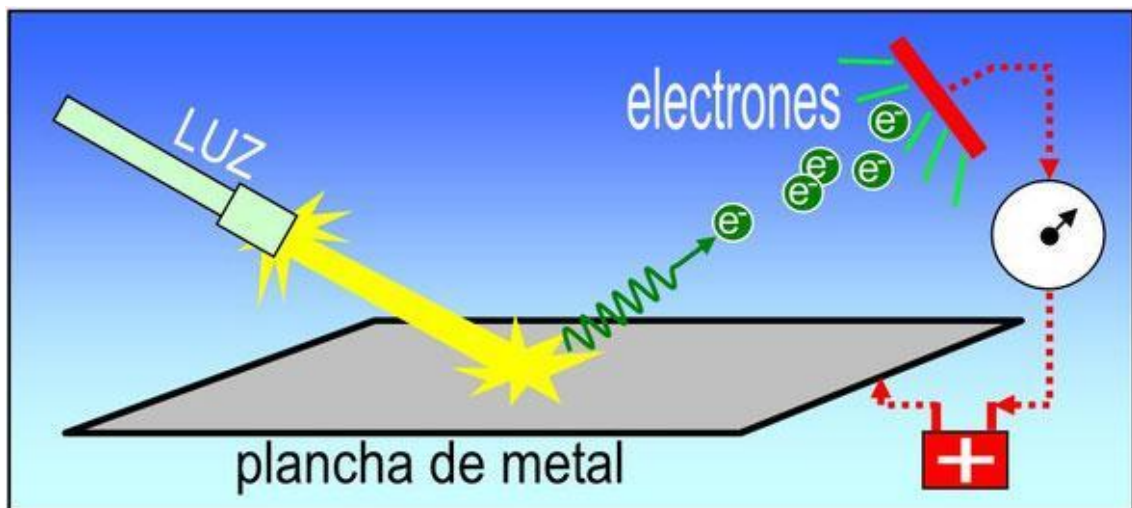


Figura 1.7. Efecto de la luz sobre una plancha metálica

(Fuente: <https://www.canaldeciencias.com/2014/01/18/qu%C3%A9-es-la-luz-2%C2%AA-parte-la-energ%C3%ADa-de-las-ondas/>)

RAÚL MARTÍNEZ TERÁN

La corriente y el voltaje generados por una célula fotovoltaica dependen de varios factores. Para calcular ambos podemos tomar la célula fotovoltaica como equivalente a un circuito eléctrico relativamente sencillo.

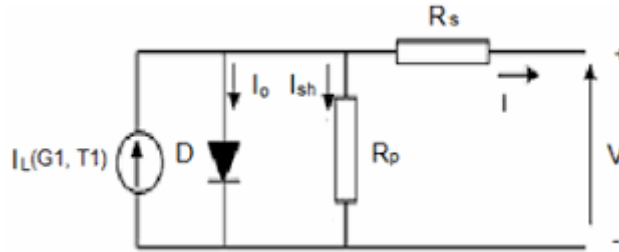


Figura 1.8. Esquema circuito eléctrico del panel solar

(Fuente: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012014000300007)

La corriente de salida “I” se calcula como $I = I_L - I_D - I_{sh}$

Dónde I_L es la corriente que el fotón genera debido al efecto fotoeléctrico. I_D es la corriente del diodo e I_{sh} es la intensidad que atraviesa la resistencia shunt.

La resistencia en serie R_s se debe a la resistencia de carga del material semiconductor. La resistencia shunt, R_p se debe a las no idealidades y a las impurezas cerca de la unión p-n y el diodo conectado en paralelo que representa la curva característica Corriente-Voltaje I-V.

La corriente del diodo se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{q \cdot V_D}{k \cdot t}} - 1 \right)$$

Dónde I_0 es la corriente de saturación del diodo; q es la carga elemental $1.6 \cdot 10^{-19}$ C; K es la constante de Boltzmann $1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K; t es la temperatura de la célula en grados Kelvin y V_D es el voltaje medido en la célula.

La corriente de shunt se calcula como:

$$I_{sh} = \frac{V_D}{R_p}$$

El voltaje de salida de la célula se calcula como:

$$V = V_D - I \cdot R_s$$

Dónde V_D es el voltaje a través del diodo y la resistencia Shunt.

Finalmente, la corriente de salida de la célula fotovoltaica se calcula con la siguiente expresión:

$$I = I_L - I_0$$

De las anteriores ecuaciones se puede obtener la curva característica I-V

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

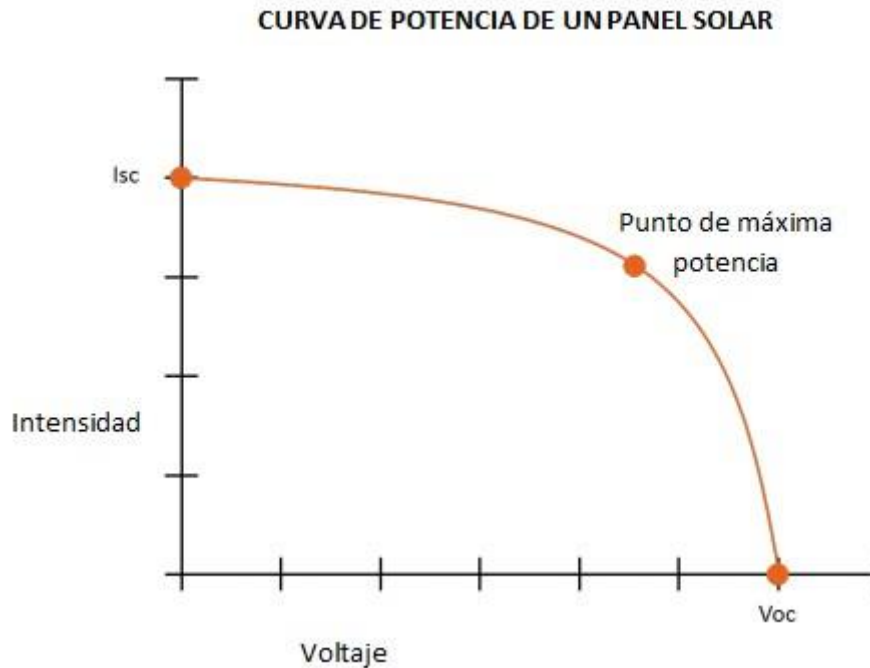


Figura 1.9. Curva de potencia de un panel solar

(Fuente: <https://www.generatuluz.com/tu-propia-instalacion-aislada/controladores-carga/reguladores/comparativa-entre-reguladores-pwm-y-mppt/>)

Donde I_{sc} es la corriente de cortocircuito (short circuit), Este valor lo obtendríamos si medimos la corriente entre los bornes de módulo fotovoltaico cuando no hay resistencia, la diferencia de potencial también será nula. La corriente de cortocircuito se puede definir como el mayor flujo de corriente que se podrá dar cuando no hay carga en el circuito y el voltaje tiene valor cero. Esto se consigue poniendo los cables de salida en cortocircuito.

V_{oc} El voltaje en circuito abierto (En inglés open circuit) corresponde al voltaje en voltios que produce el módulo solar fotovoltaico en el momento en que no está conectado, es decir, el valor que obtendríamos si medimos el voltaje que atraviesa los terminales de un módulo solar fotovoltaico que está bajo la incidencia de los rayos solares, pero no se encuentra conectado a la instalación.

P_{max} es el punto de potencia máxima. La potencia se calcula con la siguiente expresión

$$P=I*V$$

Por lo tanto, para la corriente de cortocircuito o el voltaje en circuito abierto la potencia obtenida será igual a 0.

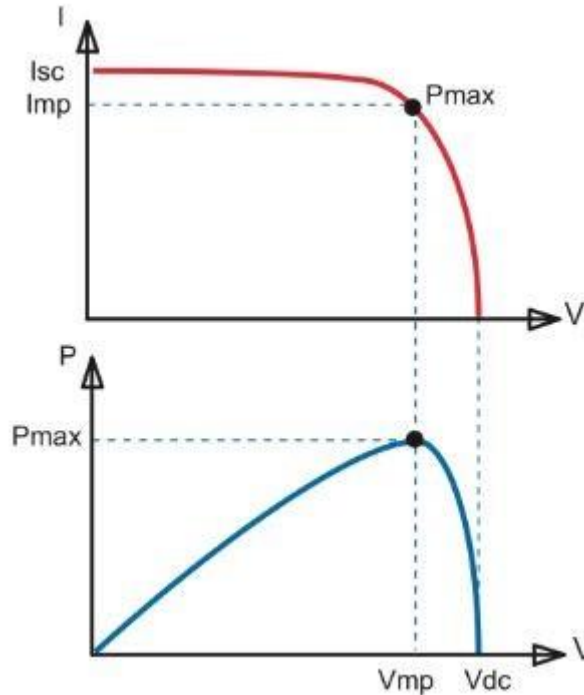


Figura 1.10. Voltaje e intensidad de máxima potencia

(Fuente: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-mppt>)

El V_{mp} o voltaje de máxima potencia se obtiene con la siguiente expresión:

$$e^{\left(\frac{q \cdot V_{mp}}{K \cdot T}\right)} * \left(1 + \frac{q \cdot V_{mp}}{K \cdot T}\right) = 1 + \frac{I_{sc}}{I_o}$$

La I_{mp} o intensidad de máxima potencia se obtiene con la siguiente expresión:

$$I_{mp} = \frac{q \cdot V_{mp}}{K \cdot T + q \cdot V_{mp}} * (I_{sc} + I_o)$$

El factor de forma (FF de sus siglas en inglés Fill Factor) de un módulo solar fotovoltaico se define como la división de la potencia real que es producida por las células fotoeléctricas entre la potencia de salida cuando el panel se encuentra en cortocircuito. Se calcula con la división de la potencia máxima entre la potencia teórica. Este valor es un factor clave que permite comparar la eficiencia de las distintas células fotovoltaicas disponibles en el mercado.

$$FF = \frac{P_{max}}{P_t} = \frac{I_{mp} * V_{mp}}{I_{sc} * V_{oc}}$$

Las células solares típicas tienen un factor de forma mayor de 0,70. En el caso de que el valor del factor de forma sea bajo se recomienda elegir otra célula, puesto que, en caso contrario, el rendimiento de la instalación disminuirá considerablemente.

Un incremento en la resistencia shunt o una disminución en la resistencia en serie provoca que el valor del factor de forma aumente lo que se traduce en una mayor eficiencia de la célula fotovoltaica.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

La eficiencia o rendimiento (η) es la división entre la potencia eléctrica obtenida y la potencia de la energía solar que llega a la célula fotovoltaica. El rendimiento se obtiene con la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = \frac{P_{salida}}{E * A}$$

Siendo E la energía de la radiación solar que llega a la célula fotovoltaica [W/m^2] medida en condiciones estándar y A la superficie de la célula fotovoltaica [m^2]

Las células fotovoltaicas convencionales de Silicio tienen un valor de conversión para la energía del sol en electricidad aprovechable de un 15%. Hay células fotovoltaicas que han alcanzado valores superiores de eficiencia, pero solo en condiciones controladas de laboratorio y su producción debido al coste de sus materiales tiene un precio demasiado elevado.

La eficiencia de las células fotovoltaicas depende en gran medida de la temperatura a la que estén operando. Cuando las temperaturas son mayores, la máxima potencia disminuye. Esto supone un problema, porque generalmente los días con mayor radiación solar, por norma general, es cuando hace más calor. Cabe destacar que en Cantabria donde estará ubicada la instalación objeto de nuestro estudio no suele haber grandes temperaturas.

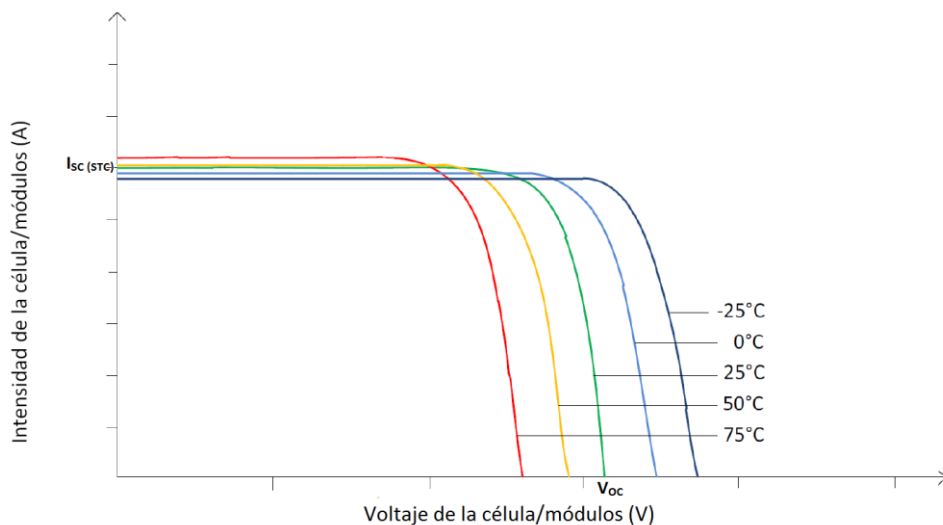


Figura 1.11. Efecto de la temperatura en las células solares

(Fuente: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/los-efectos-de-la-temperatura-en-la-20150713>)

Como podemos observar en la anterior gráfica a medida que la temperatura es menor el “pico” de la curva donde estará ubicado el punto de máxima potencia está más hacia la derecha y será mayor.

RAÚL MARTÍNEZ TERÁN

El voltaje de circuito abierto de una célula depende de la temperatura a la que se encuentre, y la temperatura de trabajo de las células varía en función de la irradiancia que reciban y de la temperatura ambiente.

Podemos comprobar que, a medida que la temperatura se incrementa, el valor de tensión de circuito abierto cada vez se hace más pequeño. Por el contrario, cuando el valor de temperatura se incrementa, la intensidad de cortocircuito también lo hace (si bien es cierto, que el aumento es prácticamente inapreciable, por lo que para la práctica se acepta como un valor constante).

En resumen, con los incrementos de temperatura la intensidad se mantiene constante y la tensión del módulo solar fotovoltaico disminuye lo que se traduce en una disminución en la potencia que entregará el panel solar.

El cálculo de la temperatura de trabajo de una célula se obtiene a partir de los datos de temperatura ambiente e irradiación, estos valores serán relacionados a través de la siguiente ecuación:

$$T_{célula} = T_{aire} + \frac{G * T_{ONC} - 20}{800}$$

Siendo:

- T_{aire} la temperatura ambiente en (°C)

- T_{ONC} la temperatura de operación nominal de la célula (°C) Esta temperatura debe ser obtenida en las siguientes condiciones de estudio que se reproducirán en un laboratorio: El módulo deberá estar funcionando en circuito abierto con una temperatura ambiente de 20 grados centígrados, un viento con una velocidad de 1 metro por segundo y el módulo deberá recibir una irradiancia con un valor de 800 W/m², y deberá estar orientado de manera perpendicular al haz de luz.

G: irradiancia solar (W/m²)

Además de estos, otros factores, pueden afectar al rendimiento del sistema fotovoltaico: manchas o suciedad sobre los paneles (por ejemplo, en forma de polvo), algún tipo de daño en el encapsulado, el daño en células debido a la acción del sol (células quemadas), combinar paneles solares de diferentes características técnicas...

La electricidad producida por los módulos solares fotovoltaicos es en forma de corriente continua. En algunos casos la corriente continua se puede utilizar directamente, básicamente se suele utilizar en instalaciones que no estén conectadas a la red. Pero por norma general es necesario que la corriente producida sea alterna (siempre que la instalación esté conectada a la red, la corriente deberá ser alterna) por lo que será necesario que la instalación disponga de un inversor. Esta conversión suele tener un rendimiento de un 80% por lo que implica una pérdida de potencia. [8]

Un panel solar fotovoltaico está formado por los siguientes componentes:

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

PARTES DE UN PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

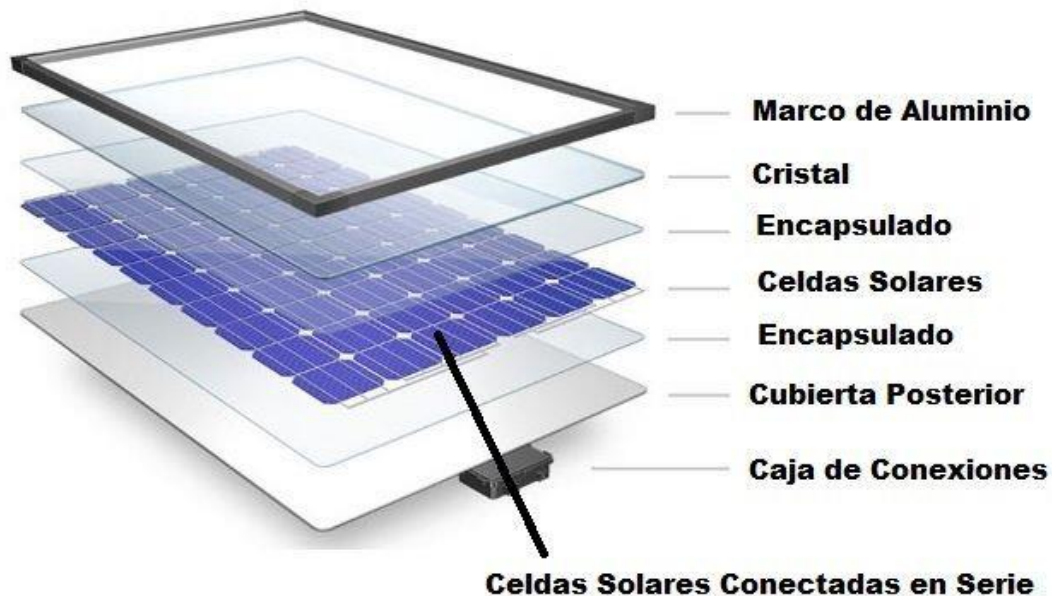


Figura 1.12. Componentes de un panel solar fotovoltaico

(Fuente: <https://ineldec.com/de-que-estan-hechos-los-paneles-solares-fotovoltaicos/>)

-Marco de metal: la mayoría de las veces está construido de aluminio, logra asegurar la rigidez e impermeabilización del módulo solar, y, además, tiene los componentes que permiten el montaje del panel sobre la estructura soporte.

-Cubierta exterior de vidrio templado: permite y mejora la transmisión de la luz y tiene una alta capacidad de resistencia a las condiciones climatológicas más adversas. El vidrio templado puede soportar cambios bruscos de temperatura sin sufrir daños.

-Encapsulante: su función es proteger el panel de la acción de los rayos solares, pero permitiendo que estos lo atraviesen de manera que las células fotovoltaicas puedan producir electricidad.

-Cubierta posterior: está formada por varias capas opacas cuyo objetivo es reflejar la luz que ha traspasado a las células, logrando que vuelvan a incidir otra vez sobre éstas.

-Caja de terminales: tiene los bornes necesarios para la conexión del módulo.

-Diodo de protección: su función es evitar daños por sombras en la superficie del módulo.

[9]

1.1.10 Tipos de células fotovoltaicas

A continuación, se establecerá una clasificación de los principales tipos de células fotovoltaicas:

- Células de silicio monocristalino (M-Si). Este tipo de células está formado por un único cristal de silicio cuya estructura es muy uniforme. Logra un rendimiento mayor que el del resto de tecnologías conocidas debido a que los átomos de silicio están perfectamente alineados facilitando así la conductividad.
- Células solares de silicio policristalino (P-Si). Estas células están formadas por muchos cristales de silicio. Su precio es inferior, pero también tienen un rendimiento más bajo.
- Células de capa fina (Thin-Film). Este tipo de células se obtienen al depositar varias capas de material fotovoltaico sobre una base. En comparación a las células cristalinas, la fabricación es más sencilla, pero su rendimiento es peor. Dentro de esta categoría hay varios tipos de células. Celdas solares sensibilizadas por colorante (DSC); células de cobre indio galio y selenio (CIS o CIGS); células de telurio de cadmio (CdTe) y por último células de Silicio amorfo (a-Si) y otros silicios de película delgada (TF-Si).

Los diferentes tipos de células solares fotovoltaicas dependen de la naturaleza y las características de los materiales utilizados para su construcción. La más utilizada es la célula de silicio cristalino (Si). El silicio cristalino se corta en capas con muy poco grosor, dichas capas tienen forma de disco y pueden ser mono o policristalinas.

Las células formadas por cristales de silicio son conocidas como las células fotovoltaicas de primera generación y su uso en el mercado está totalmente extendido (alrededor de un 90%).

Las células de capa fina son utilizadas en las células fotovoltaicas de segunda y tercera generación.

Existen nuevos tipos de células fotovoltaicas, pero no profundizaré en su estudio debido a que todavía se encuentran en fase experimental y su precio económico es demasiado alto para su implantación comercial.

La primera tecnología en ser aplicada fue la de las células monocristalinas compuestas a partir de silicio puro, dichas células presentan una gran eficiencia, pero en contrapartida su coste económico está por encima del de el resto de las tecnologías lo que hace que no tengan un gran nivel de utilización en la actualidad.

Células monocristalinas:

Las células fotovoltaicas monocristalinas suelen tener forma cuadrada, con las esquinas redondeadas. Anteriormente tenían forma circular.

Las principales características de las células monocristalinas son:

- El proceso de calentamiento de este tipo de células es más lento.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

- Su proceso de fabricación es más costoso energéticamente, además conlleva mayor tiempo.
- tienen una eficiencia superior con respecto a los otros tipos de células solares.

Células policristalinas:

En el proceso de fabricación del silicio policristalino, el silicio se deja solidificar lentamente en un molde rectangular, lo que permite obtener un sólido rectangular con muchos cristales (de ahí el nombre de células policristalinas). La eficiencia de las células solares policristalinas está por debajo de las monocristalinas, lo que es compensado debido a su precio inferior. De hecho, este tipo de células son más utilizadas a día de hoy.

Células de capa fina:

Este tipo de células cuenta con una menor implantación, se pueden encontrar en el mercado paneles fotovoltaicos llamados de "capa fina". Estos no se fabrican con células individuales, sino que las células se sitúan en forma de bandas continuas que son depositadas sobre un sustrato apropiado (vidrio o resinas sintéticas) con un espesor pequeño. Este tipo de células permite construir un módulo continuo en el que las células no tengan que estar interconexionadas.

Una de las principales características de estas células es que los fotones que no chocan con ningún electrón las atraviesan gracias a su pequeño grosor, esto permite el diseño de paneles con diferentes capas puestas una a continuación de la otra. Se pueden agrupar dos o hasta tres capas lo que permite incrementar la producción eléctrica.

Uno de los tipos de capa fina es la célula con silicio amorfo. Las células con silicio amorfo cuentan con un rendimiento de aproximadamente la mitad del de las células cristalinas, y por ello, en los procesos de fabricación de células de capa fina se están empezando a utilizar otros tipos de semiconductores, básicamente, selenio de cobre e indio (CIS) o telurio de cadmio (CdTe).

Cada módulo solar fotovoltaico está compuesto por un conjunto de células fotovoltaicas. El valor normal de producción de cada célula está en torno a 1 o 2 vatios. Los paneles solares normalmente están formados por como mínimo 36 celdas fotovoltaicas, pero pueden tener muchas más, dependiendo del tamaño y la potencia del panel que se requieran. En la mayoría de los casos, la conexión entre las células es realizada en serie, aunque también es común ver filas de células cuya conexión es en serie conectadas a su vez en paralelo entre sí. [10]

-1.1.11 Radiación solar

La radiación solar se define como la energía emitida por el sol en forma de radiación electromagnética que llega a la atmósfera de la tierra. Se mide sobre una superficie horizontal, mediante un sensor de radiación (también llamado piranómetro),

RAÚL MARTÍNEZ TERÁN

que deberá ser colocado en un lugar sin sombras y con orientación sur. La unidad de medida es vatios por metro cuadrado (W/m^2).

Según los datos del portal ADRASE (Acceso a datos de radiación solar de España) perteneciente al grupo de radiación solar del CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). El CIEMAT consiste en un organismo público que está orientado a la investigación bajo el amparo del Ministerio de Ciencia e Innovación a través de la Secretaría General de Investigación. La radiación solar media para Los Corrales de Buelna la podemos ver representada en la siguiente gráfica.

En ella podemos ver representado el valor medio de irradiación solar anual en la localización de la vivienda tanto en forma de tabla como en forma de gráfica.

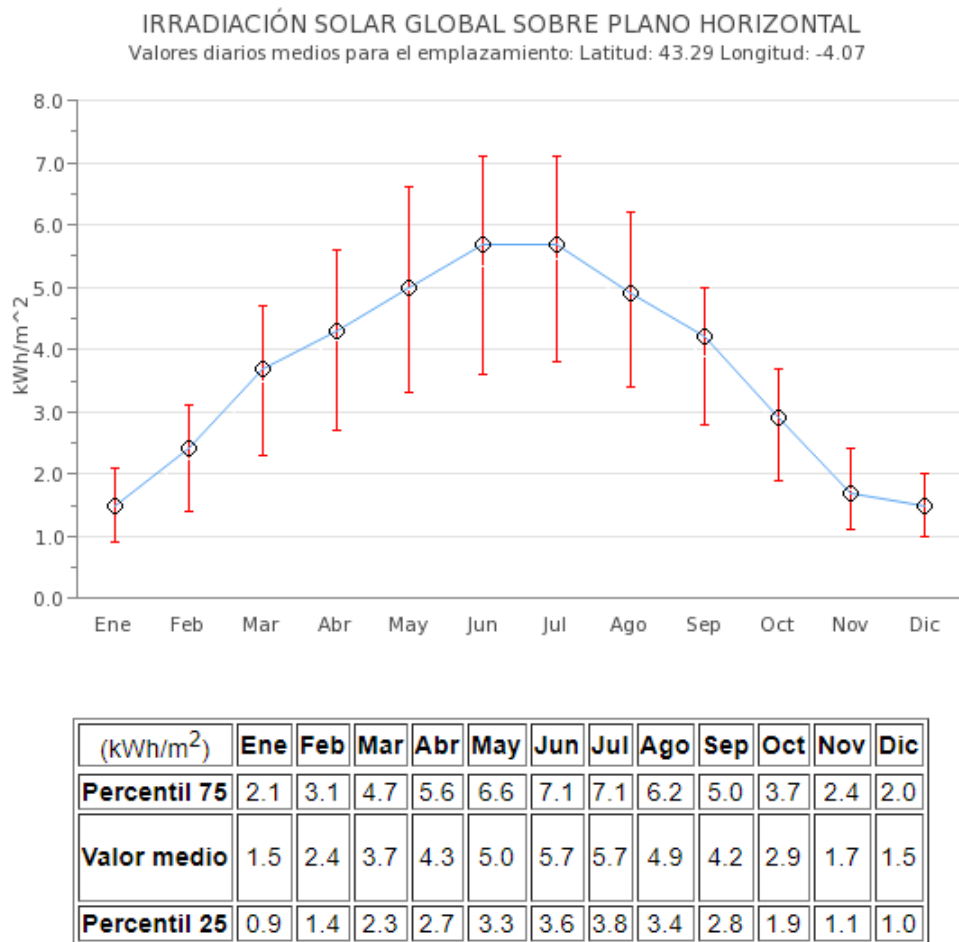


Figura 1.13. Irradiación solar sobre Los Corrales de Buelna (Fuente: Portal ADRASE)

El azimut solar se define como el ángulo que forma la proyección del sol con la dirección sur.

Si la instalación está orientada hacia el este se considera que su azimut solar es de -90 grados. En el caso de que la instalación se oriente hacia el oeste el azimut será de 90 grados positivos.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

En este caso el azimut solar será 0 porque la zona del tejado de la vivienda donde estarán ubicados los paneles se encuentra orientada al sur.

-1.1.12 Normativa y legislación aplicable

Existe una amplia legislación con relación a las instalaciones de autoconsumo de origen fotovoltaico en nuestro país, a continuación, se resumirá la principal normativa que atañe a esta instalación.

En función de si la instalación está conectada a la red eléctrica o no, la legislación aplicable dicta una serie de derechos y obligaciones que difieren. Cuando la instalación sea un sistema fotovoltaico aislado de la red, esta se considera como una instalación generadora aislada de baja tensión. (todos los módulos solares fotovoltaicos trabajan con una tensión inferior a la de alta tensión).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se puede afirmar que los sistemas fotovoltaicos aislados deben obedecer simplemente el RD 842/2002 por el cual se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT). En concreto la instrucción técnica que trata este tipo sistemas solares fotovoltaicos es la ITC-BT-40, aunque no profundiza mucho en los detalles.

En función de lo expuesto en el REBT, para la legislación de los sistemas fotovoltaicos aislados, de potencia no superior a 10 kW será suficiente con que un electricista acreditado realice una Memoria Técnica de Diseño (MTD) que deberá ser enviada, junto al Certificado de Instalación (CI), al organismo o registro competente de la Comunidad Autónoma en el caso de esta instalación, Cantabria.

En caso contrario, para aquellas instalaciones generadoras aisladas que sí superen los 10 kW de potencia, será necesario un proyecto, firmado por un técnico competente (ingeniero titulado), siguiendo las directrices que imponen la ITC-BT-04 que deberá ser adjuntado, igualmente, al Certificado de Instalación.

En cuanto a los sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red (El caso de esta instalación), la legislación aplicable es considerablemente más complicada que las de los sistemas fotovoltaicos aislados. Esta legislación clasifica los tipos de estas instalaciones en función de si tienen consumos eléctricos asociados y se ubican próximos a estos (autoconsumo) o si dichas instalaciones están diseñadas exclusivamente para inyectar energía eléctrica a la red con fines económicos (centrales fotovoltaicas).

Las normas de aplicación que deben ser seguidas por las instalaciones con sistemas de autoconsumo son el RDL 15/2018 (que derogó la casi totalidad del RD 900/2015, en este decreto fue impuesto el que a partir de entonces se conocería como “impuesto al Sol”) y su posterior desarrollo, el Real Decreto 244/2019.

Las normativas diferencian principalmente dos tipos de instalaciones: autoconsumo sin excedentes y autoconsumo con excedentes. Las instalaciones englobadas dentro del primer tipo tendrán la obligación de contar con un sistema antivertido a la red con el objetivo de evitar que la energía eléctrica producida que no sea consumida por la vivienda

pueda ser vertida a la red de distribución eléctrica. Además, lo ideal es que este tipo de instalaciones cuenten con baterías que permitan almacenar la electricidad producida en los momentos en los que la producción de la instalación sea superior al consumo de la vivienda.

En el segundo tipo, hay dos modalidades diferentes de autoconsumo con excedentes: instalación de autoconsumo sin derecho a compensación e instalación de autoconsumo con derecho a compensación. Estas últimas deberán cumplir con la condición de proximidad (las instalaciones deberán estar conectadas, tanto sus componentes de generación como los de consumo a una distancia inferior a 500 metros entre los equipos de medida en su proyección ortogonal) y, además, la instalación no podrá superar los 100 kW de potencia nominal. Si se cumple el caso de que la instalación es de proximidad, pero supera el límite de potencia nominal, dicha instalación perderá el derecho a compensación económica y se regirá principalmente por el RD 1955/2000.

También es necesario remarcar que, en función del RD 244/2019, la legalización de las instalaciones solares fotovoltaicas de autoconsumo de menos de 15 kW de potencia nominal con excedentes y acogidas a compensación se debe tramitar por un procedimiento abreviado, bastante simple, parecido al procedimiento por el que se rigen las instalaciones de autoconsumo sin excedentes. Aparte de lo nombrado hasta ahora, las instalaciones de baja tensión con autoconsumo deberán cumplir el reglamento electrotécnico de baja tensión (REBT), mientras que las de media y alta tensión (más de 1.5 kV de CC o más de 1 kV en CA) tendrán que cumplir con las condiciones técnicas expuestas en el RD 1955/2000.

Con independencia del tipo de instalación que se decida llevar a cabo, el proyectista o instalador de energía solar estará obligado a conocer las principales normas de aplicación de los sistemas de generación eléctrica renovable, las cuales son nombradas a continuación:

- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- Real Decreto Ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.
- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. [11]

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

-1.1.13 Elementos de la instalación

Los principales componentes de una instalación solar fotovoltaica son los siguientes:

-Módulo solar fotovoltaico (comúnmente conocido como panel): como hemos visto anteriormente, es el componente de la instalación que se encarga de transformar la radiación solar en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico. Se construyen principalmente de materiales semiconductores (silicio) monocristalinos o policristalinos. Los módulos solares fotovoltaicos se clasifican en función de su potencia nominal o potencia máxima que puede ser generada por el módulo en condiciones ideales de estudio (radiación de 1kW/m² y temperatura de 25°C).

-Inversor: Este componente es el encargado de convertir la corriente eléctrica generada por los paneles solares: continua y de bajo voltaje (12v o 24v típicamente) en corriente alterna de igual tipo y valor que la transportada por la red eléctrica. Normalmente, los inversores son clasificados en función de su potencia nominal, dicha potencia se calcula como el voltaje por la corriente máxima ($P=VI$). Este valor se corresponde con la demanda máxima de potencia de los módulos solares fotovoltaicos que van a ser conectados al inversor. Es necesario que los inversores sean de gran calidad ya que así las señales sinusoidales generadas podrán ser acordes con los requerimientos mínimos de calidad exigidos para el buen funcionamiento de la red eléctrica.

En los proyectos de instalaciones solares fotovoltaicas con conexión a la red, el inversor es la parte fundamental del sistema. Es de vital importancia conocer las características técnicas del inversor que deberán ser proporcionadas por el fabricante, con el fin de un correcto dimensionamiento y diseño de la instalación lo que permitirá evitar fallos.

La potencia nominal de cada inversor multiplicada por la cantidad de inversores instalados determinará la potencia nominal de la planta solar fotovoltaica en cualquier sistema fotovoltaico conectado a la red. Para cada sistema fotovoltaico, hay disponible una gran variedad de equipos (clasificados en función de su potencia nominal, generalmente) para su utilización. Como norma general, el técnico cualificado que diseñe la instalación deberá elegir un tipo de inversor que esté equipado con la mayor cantidad posible de protecciones con el fin de que se cumpla la normativa actual para este tipo de instalaciones, de manera que la consecuencia sea un incremento en la seguridad de la instalación. Además, es importante valorar si los elementos tienen implementados la visualización, el monitoreo y el control de los datos y parámetros de funcionamiento de todo el sistema. Este tipo de aplicaciones que permiten visualizar y monitorear los datos a través de una Tablet, ordenador o del smartphone cada vez cuentan con una mayor importancia, de hecho, se ha convertido a día de hoy en un requisito prácticamente imprescindible para elegir este tipo de equipos. Puesto que esto permitirá conocer el punto de máxima potencia, es decir, el voltaje para el que el sistema alcanza una mayor eficiencia y los datos de funcionamiento de la instalación.

La eficiencia de un inversor es un parámetro clave puesto que al transformar la corriente en continua en alterna es inevitable que se generen pérdidas. Los avances tecnológicos han permitido que los inversores actuales tengan una eficiencia de en torno al noventa y cinco por ciento. La eficiencia o rendimiento del inversor se calcula dividiendo la

potencia de salida en corriente continua entre la potencia que generó el módulo solar fotovoltaico inicialmente en corriente continua.

El fabricante deberá incluir la curva de eficiencia del inversor entre sus características.

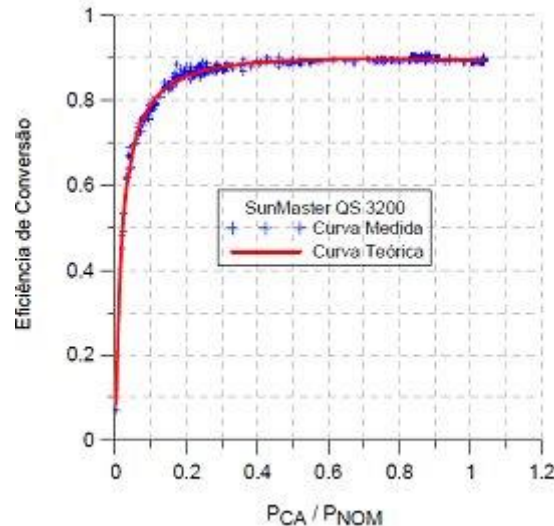


Figura 1.14. Eficiencia de un inversor

(<https://www.researchgate.net/publication/281819639>)

Como se puede observar en el anterior gráfico la eficiencia del inversor variará en función de la potencia generada y también del voltaje para el que esté trabajando el inversor, en el caso de que la potencia sea baja. Los valores obtenidos para la eficiencia son pequeños. A medida que la potencia que se genera va incrementándose, la eficiencia aumenta hasta el momento en el que se alcanza un punto máximo, a continuación, la eficiencia disminuye levemente a medida que se alcanzan las mayores potencias.

Cabe destacar que si el inversor está trabajando para bajas potencias. El autoconsumo de electricidad que necesita el inversor (< 2 kWh/año) se vuelve relevante. Lo que implica una reducción de la eficiencia.

En función de donde van colocados hay varios tipos de inversores.

Inversor central: Un inversor es utilizado para las distintas filas (en inglés strings) de paneles conectados en serie. El principal punto a favor de este sistema es que bastará con la utilización de un solo inversor, pero la conexión será más difícil, aumentándose la cantidad de cables y conectores y, por lo tanto, aumentando el coste final. Además, un inversor central no podrá hacer que cada módulo fotovoltaico trabaje en su punto de máxima potencia. Pero logrará que todos los módulos trabajen a la máxima potencia “media”. Es importante destacar que todas las filas de módulos deberán tener las mismas características para estar conectadas a un inversor central.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

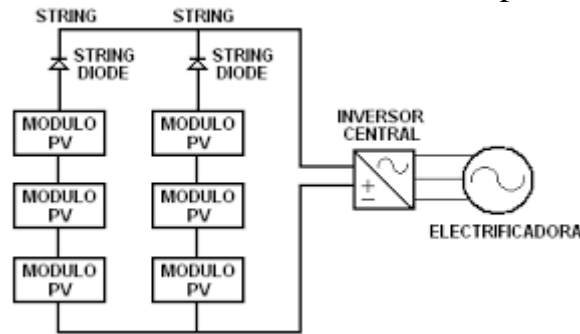


Figura 1.15. Esquema disposición con inversor central

(Fuente: <https://www.dialnet.unirioja.es>)

Inversor para cada fila: Consiste en poner un inversor en cada fila o string de paneles lo que conlleva un aumento de coste, pero también consigue aumentar la eficiencia de la instalación al buscar el voltaje de máxima potencia para cada fila. El conexionado en este caso es más sencillo que para un inversor central.

Inversor para cada módulo: un inversor se conecta con cada panel solar fotovoltaico, normalmente en la parte de atrás de este. De esta forma cada módulo puede trabajar en su punto de máxima potencia. Pero tiene desventajas como que los inversores tienen que estar en el exterior y es recomendable que estén resguardados para incrementar su vida útil. El precio de la instalación aumenta mucho. Y si el módulo fotovoltaico y el inversor se diseñan juntos si uno de los dos elementos falla o sufre un daño se deberán sustituir ambos.

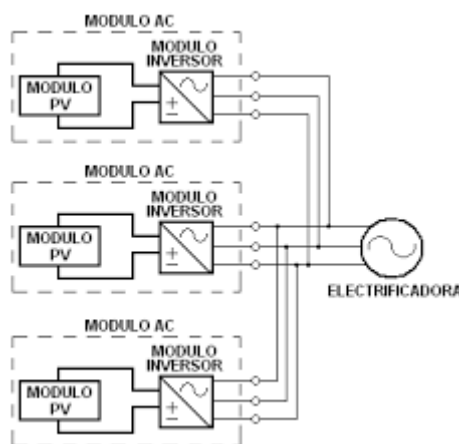


Figura 1.16. Esquema inversor para cada módulo

(Fuente: <https://www.dialnet.unirioja.es>)

RAÚL MARTÍNEZ TERÁN

Inversores solares híbridos en paralelo: Esta disposición logra incrementar la potencia disponible gracias a conectar los distintos inversores en paralelo.

Para instalaciones solares fotovoltaicas con una gran capacidad de producción existe una disposición llamada máster-esclavo. Dicha disposición puede estar formada por dos o por tres inversores.

Cuando los dos o tres inversores están conectados al mismo grupo de paneles solares, estos actuarán automáticamente como “máster” o como “esclavo” en función de las necesidades de potencia en cada momento.

Cuando la producción es baja, por ejemplo, en los días nublados solo funciona el inversor máster. En el momento en el que la producción supera la capacidad del inversor máster, entra en funcionamiento el esclavo 1 (en el caso de que haya dos inversores esclavos) y si es necesario entra en funcionamiento el inversor esclavo 2.

Es necesario conocer que los inversores tienen un voltaje máximo y un voltaje mínimo. Esto se traduce en que el voltaje al que estén trabajando los módulos solares fotovoltaicos deberá estar siempre incluido dentro de los límites de esa horquilla de valores. Se debe tener en cuenta el efecto de la temperatura en el voltaje del módulo fotovoltaico.

También es importante remarcar que los equipos soportan una intensidad máxima que la cual no podrá sobrepasada en ningún caso bajo riesgo de dañar irreversiblemente el inversor. Se debe comprobar que la corriente de cada fila de módulos no supere esa intensidad máxima.

-Estructura de soporte de los paneles: Aunque es un componente importante en la instalación solar fotovoltaica se trata de un elemento pasivo, es decir, su cometido consiste en mantener en su sitio a los módulos fotovoltaicos, en el caso de esta instalación la posición de los módulos será siempre fija y estarán orientados hacia el sur (punto donde más se aprovecha la energía solar). Más allá de la fijación, no tienen ninguna otra función en la instalación. Los componentes de la estructura serán fabricados de perfiles cuyo material deberá ser aluminio reforzado (esto se debe a la buena resistencia de este material ante la humedad y la corrosión algo totalmente necesario teniendo en cuenta que estará situada a la intemperie y se pretende que tenga una vida útil prolongada en el tiempo). El fabricante suministrará todos los componentes necesarios que permitan montar la estructura en el lugar elegido para la instalación. Los elementos de la estructura cuentan con un sistema de montaje sencillo en un solo clic.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular



Figura 1.17. Perfil de aluminio

(Fuente: <https://www.hepcomotion.com/es/producto/soluciones-de-perfiles-de-aluminio/mcs-perfiles-de-aluminio/>)

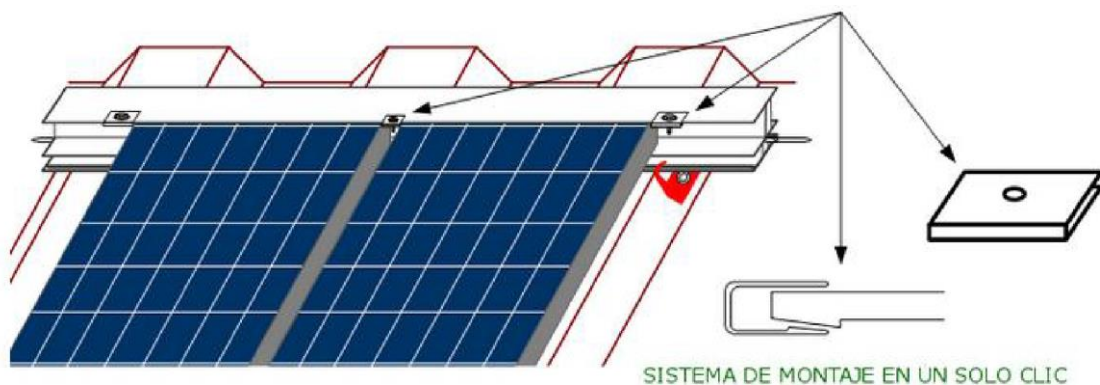


Figura 1.18. Sistema de montaje en un solo clic (Fuente: <https://www.tesa.com/es-ar/industria/energias-renovables/industria-solar/fijacion-de-bastidores-fotovoltaicos>)

-Cajas de conexiones: Las cajas de conexiones permiten la conexión entre los módulos y el inversor de manera sencilla y consiguiendo disminuir la cantidad de cable que es necesario emplear. Estas cajas recogen los cables provenientes de los diferentes módulos, que irán a un mismo regulador, disponiendo una única salida hacia este.

-Un cuadro de interconexión a la red eléctrica comercial

-Contadores eléctricos: Los sistemas de energía solar fotovoltaica conectados a la red necesitan disponer de dos contadores situados entre el inversor y la red. El cometido del primero de ellos será cuantificar la cantidad de electricidad generada y volcada a la red que posteriormente deberá ser facturada. El segundo contador servirá para cuantificar el reducido consumo del inversor cuando no se está produciendo energía. Este consumo es inferior a 2 kWh anuales

El consumo de electricidad de la vivienda en los momentos en los que la producción de la instalación no sea suficiente se realizará de la energía suministrada por la red de

distribución, con su propio contador (con el que la vivienda cuenta actualmente), siendo ésta una instalación totalmente independiente del sistema solar fotovoltaico.

-Sistema de cableado: Es de vital importancia la realización de un correcto dimensionamiento en el cableado necesario para las conexiones puesto que si la sección de los cables es demasiado pequeña puede generar problemas técnicos y en el caso de sobre dimensionar el sistema de cableado se incrementará el coste de la instalación notablemente.

En el caso de los sistemas solares fotovoltaicos que cuenten con almacenamiento en baterías otros dos componentes son necesarios.

-Regulador de carga: el objetivo del regulador de carga es elegir en qué momento las baterías se podrán cargar y cuando se podrán descargar de forma lo más eficiente posible de manera que se prolongue su vida útil mediante la protección del sistema ante sobrecargas cuando la batería esté llena y sobre descargas. Los reguladores de carga se clasifican y comercializan en función de su capacidad máxima de corriente a controlar (amperios).

-Baterías: La batería de una instalación solar regula la energía eléctrica. En ellas se almacena electricidad cuando la producción es superior a la demanda eléctrica de la vivienda para ser utilizada en un momento posterior cuando la producción sea menor que las necesidades de consumo. Lo que se valora en ellas es la capacidad para el almacenaje de energía en amperios. Es importante remarcar que a día de hoy las baterías son un componente muy caro y cuentan con una vida útil relativamente corta lo que es un gran impedimento para su implantación general. [12]

-1.1.14 Tramitación administrativa

Cabe destacar que el gobierno de la comunidad autónoma donde se encuentra la vivienda objeto del estudio, Cantabria lleva varios años incentivando la instalación de fuentes de energía cien por cien renovables.

En el año 2019, el gobierno cántabro presentó la Orden INN/13/2019, de 20 de marzo, mediante la cual se aprobó la convocatoria para el año 2019 de las subvenciones para las actuaciones en energías renovables, ahorro y eficiencia energética en Cantabria (B.O.C nº 63 de 29/03/2019).

El caso de este estudio sería beneficiario de estas ayudas, puesto que se encuentra englobado dentro del supuesto “Conversión de energía solar en energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos, sin potencia máxima de la instalación.” Concretado en el artículo citado del boletín oficial de Cantabria.

Las partes de la instalación que se podrían incluir en la petición de la subvención son las siguientes: módulos fotovoltaicos, baterías, reguladores, convertidores, sistema de monitorización y/o telegestión, tendidos eléctricos y conexiones, obra civil, montaje y puesta en marcha.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

Para optar a la citada ayuda económica es necesario presentar la siguiente documentación al gobierno de Cantabria:

- Solicitud
- Declaración responsable
- Breve memoria descriptiva
- Facturas justificativas
- Lista con relación numerada de facturas
- Justificantes de pago de facturas
- Otra documentación (contrato leasing, documento de constitución y poder de representante de empresa, contrato/acuerdo con ESE, etc.)

La concesión de la ayuda económica será decidida por concurrencia competitiva, en virtud de la Ley 10/2006 de Subvenciones de Cantabria.

Existirá una prelación temporal hasta el agotamiento total de la suma total destinada por el gobierno cántabro a las ayudas citadas.

Es necesario remarcar la incompatibilidad de esta ayuda con otras subvenciones, ayudas, etc., del Gobierno de Cantabria, sus organismos autónomos y entidades públicas empresariales.

Es el momento idóneo para disfrutar de estas ayudas ya que, por ejemplo, según los datos del 2018 sólo 15 personas físicas (incluyendo comunidades de vecinos) presentaron la solicitud para recibir la subvención. Con un coste medio de cada instalación de 9.005,12 euros.

Al haber tan pocas peticiones de los 135.076,74 euros presupuestados por el gobierno sólo se repartieron 47.418,49 euros en concepto de subvención. Recibiendo cada solicitante una cantidad media de 3.161,23 euros.

-1.1.15 Periodo de amortización

Teniendo en cuenta los valores medios que han obtenido este tipo de instalaciones en forma de subvención por parte del gobierno de Cantabria. Se ha estimado que la instalación objeto del proyecto obtendrá una cuantía de en torno a 3000 euros.

Por lo tanto, si al valor presupuestado en el apartado 4 (7550.88 euros) le quitamos la cantidad de la que presumiblemente se hará cargo el gobierno de Cantabria, el coste de la ejecución del proyecto correspondería a la cantidad de 4550.88 euros.

Según la estimación realizada en el apartado 1.2.3, el ahorro económico anual que supondría la instalación ascendería a 393.79 euros.

RAÚL MARTÍNEZ TERÁN

Con estos datos, si dividimos el coste de la instalación (teniendo en cuenta la ayuda económica del gobierno regional) entre el ahorro anual. Obtenemos que el periodo de amortización de la instalación será 11.56 años.

En conclusión, cuando la instalación cumpla los once años y medio su coste estará amortizado y a partir de entonces nos supondrá como mínimo un ahorro anual de 393.79 euros (teniendo en cuenta que se espera que el precio de la electricidad continúe subiendo este ahorro será mayor). Por lo tanto, este proyecto es totalmente viable desde el punto de vista económico además de que permitirá contribuir al freno del cambio climático.

En el caso de no poder contar con la ayuda económica del gobierno regional. El presupuesto total de la instalación, 7550.88 euros, dividido entre el ahorro anual, 393.79 euros, supondría un periodo de amortización de 19.17 años. Lo que, teniendo en cuenta la vida útil esperada de los elementos que componen la instalación (30 años) es un indicador de que, desde el punto de vista económico, no compensa la gran inversión inicial requerida puesto que hay que esperar casi 20 años para obtener beneficio.

Este hecho determina que la tecnología fotovoltaica disponible en estos momentos no dispone aún del suficiente grado de madurez como para que sea totalmente competitiva con las fuentes de energía convencionales no renovables.

Si bien, es cierto que desde el punto de vista medioambiental estaríamos contribuyendo a tener un planeta más limpio y a frenar el cambio climático (motivos que llevan a los gobiernos a conceder las ayudas económicas que permiten a los particulares llevar a cabo este tipo de proyectos).

Para comprobar matemáticamente la viabilidad económica he utilizado la Tasa Interna de Retorno (conocida como TIR) que consiste en el porcentaje de rentabilidad que se espera obtener de una inversión económica y el Valor Actual Neto (VAN) que consiste en la comparación entre el beneficio que se obtiene de la inversión de capital en el proyecto o la inversión de dicho dinero en un producto financiero con un porcentaje de beneficio conocido (tasa de descuento). Estas tasas estiman si es coherente realizar la inversión de un proyecto o por el contrario se obtendrían más beneficios invirtiendo el dinero en un producto financiero.

El VAN se calcula con la siguiente fórmula:

$$VAN = -D + \frac{Q_1}{(1+k)} + \frac{Q_2}{(1+k)} + \frac{Q_n}{(1+k)}$$

Donde D es el desembolso inicial requerido por el proyecto, K la tasa de descuento, Q cada flujo de dinero (en este caso siempre positivos porque la instalación cada año otorgará beneficios) y n el número de periodos en el que habrá flujos de dinero (En este caso 30 años ya que es el periodo de vida útil que se espera en la instalación).

Si el VAN es mayor que 0 el proyecto generará beneficios y si es negativo el proyecto supondrá pérdidas.

El TIR es el valor de la K o tasa de descuento que hace el VAN=0, es decir el valor a partir del cual se empiezan a obtener beneficios.

El programa Excel permite calcular ambas tasas de manera automática.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

Si se supone un desembolso inicial de 4550.88 euros (teniendo en cuenta la ayuda económica otorgada por el gobierno regional) se obtiene una TIR de 8%. Lo que supone que se obtendrán más beneficios con la instalación que si se invirtiera dicho capital en un fondo de inversión que otorgue unos beneficios inferiores del 8%. Lo que quiere decir que si se calcula el VAN con una K inferior a 8% el VAN es positivo (proyecto viable) mientras que si la K es mayor de 8 el VAN es negativo lo que supondría que, en ese caso es más aconsejable invertir el dinero en un producto financiero con un beneficio superior al 8% que en el proyecto.

Si repetimos los cálculos sin tener en cuenta la subvención del gobierno (con un desembolso inicial de 7550.88 euros se obtiene una TIR del 3%. solo se obtendrían beneficios con el proyecto en comparación de si lo hubiéramos invertido en un proyecto financiero con un porcentaje de beneficios inferior al 3%. Como indicaba anteriormente, sin la ayuda del gobierno el proyecto no es viable económicamente de manera clara.

[13]

1.2 Anejos a la memoria

-1.2.1 Dimensionamiento

Para llevar a cabo los cálculos de producción de la instalación he utilizado la herramienta “Pvgis” de la comisión europea. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM, se trata de una herramienta informática de uso libre que permite calcular el rendimiento de una instalación fotovoltaica de manera gratuita. Tiene una amplia base de datos con los datos de radiación solar que permiten hacer el cálculo lo más exacto posible. La existencia de bases de datos de radiación solar es fundamental para diseñar y ejecutar correctamente una instalación solar fotovoltaica. Este tipo de bases de datos albergan información sobre una gran cantidad de datos climatológicos del planeta tierra, pero antes de ser utilizados, estos, deben ser procesados por expertos en climatología.

Existen bases de datos que están formadas por un conjunto de otras bases de datos más pequeñas, una gran parte de esas bases están disponibles en internet. Esto se debe a la gran necesidad de este tipo de datos que presentan la industria y la investigación.

Aunque todas esas bases estén disponibles, es cierto que, en algunos sectores de la industria, tienen la necesidad de contar con bases de datos que sean actualizadas con regularidad y que tengan un alto grado de precisión.

La forma más común de obtener las condiciones climatológicas de forma correcta en una ubicación exacta es la utilización de las técnicas de interpolación. Estos cálculos interpolados suelen estar reforzados con la ayuda de los datos obtenidos de satélites geoestacionarios.

La base de datos geographical information system (GIS) utilizada por este programa ha sido desarrollada a partir de diferentes modelos de radiación solar y técnicas de interpolación. Las ecuaciones utilizadas en este tipo de modelos se basan básicamente en los datos que han sido publicados en el Atlas Europeo de la Radiación Solar (ESRA). El

ESRA calcula el haz, difuso y reflejado de los distintos componentes del cielo, independientemente de que el cielo esté nublado o despejado, también estima los valores para la irradiancia y la radiación solar obtenidas en superficies en forma de plano horizontal o inclinadas. Los valores totales de radiación [kWh/m^2] se calculan a través de la integración de los valores de irradiancia [W/m^2] que han sido calculados para un período de tiempo concreto y con el valor medio obtenido entre el amanecer y el atardecer. Este modelo también valora la posible falta de radiación en forma de sombras que ha podido ser producida por la situación física de la ubicación escogida para la instalación.

Esta base de datos cuenta con un sistema capaz de rastrear con una resolución de 1 km^2 cada mes lo que se traduce en un valor de irradiancia global [$\text{Wh/m}^2\text{d}$] para cada año. Dicho valor se calcula independientemente para los módulos fotovoltaicos tanto en posición horizontal como en posición inclinada con los siguientes ángulos: 15, 25, 40 y 90° . Esta base de datos también añade series de datos sobre las irregularidades de la atmósfera y sobre la ratio de la irradiancia global difusa. Esta base de datos también cuenta con valores medios mensuales y anuales para la inclinación óptima expresada en grados de los módulos solares fotovoltaicos que les permita captar la máxima cantidad de la irradiancia solar disponible.

Por último, la radiación solar se calcula para el valor medio anual del ángulo óptimo de los paneles solares. Para obtener este dato también se tiene en cuenta el efecto negativo producido por las sombras. Gracias a la utilización de modelos digitales de elevación (MDT) se logra mejorar los cálculos estimados de radiación solar, sobre todo en zonas en las que la densidad de medida del terreno es baja.

Para realizar los cálculos con el programa se deben seguir los siguientes pasos:

En primer lugar, se debe seleccionar que tipo de instalación se quiere simular. En nuestro caso una instalación solar fotovoltaica conectada a la red.

A continuación, es necesario introducir las coordenadas exactas donde estará situada la instalación, el programa utiliza los datos de radiación solar media para dicha zona concreta.

En tercer lugar, hay que seleccionar el tipo de tecnología que se utilizará para las células solares fotovoltaicas. En el caso de esta instalación serán células fabricadas de silicio cristalino.

El siguiente paso es seleccionar la potencia pico instalada. Para nuestra instalación, teniendo en cuenta el tamaño del tejado, se van a utilizar diez módulos solares fotovoltaicos de 315 W cada uno, ubicados en dos filas paralelas o strings con 5 módulos cada fila. Por lo tanto, la potencia pico de la instalación será:

10 módulos x 315 W cada módulo = 3150 Wp

Es decir, 3.15 kWp.

El próximo parámetro que se debe seleccionar es el porcentaje de pérdidas que se asumirán en el sistema. Las pérdidas estimadas del sistema se conocen como todas las pérdidas dentro del propio sistema cuya consecuencia es que la cantidad de potencia que el sistema vuelca en la red eléctrica sea inferior a la potencia total que ha sido producida por los paneles solares fotovoltaicos. Existen varias causas que afectan a las pérdidas del

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

sistema como la falta de idealidad en el sistema de cableado de los inversores solares, la suciedad en forma de polvo (en ocasiones nieve) sobre los módulos, etc. Además, con el paso del tiempo el rendimiento de los módulos también tiende a disminuir, por lo tanto, la potencia media que será entregada cada año durante la vida útil de diseño de la instalación será inferior a la potencia entregada durante los primeros años.

En este caso, para obtener un mayor grado de seguridad en los cálculos se asumirá que las pérdidas tienen un valor del 14%.

A continuación, se seleccionará si los módulos solares fotovoltaicos estarán integrados en el edificio o estarán sobre este como en el caso de la instalación objeto de nuestro estudio.

Los siguientes parámetros que son necesarios introducir son, en primer lugar, el ángulo de inclinación o pendiente, es decir, el ángulo que presentan los módulos fotovoltaicos en comparación al plano horizontal. En los sistemas de montaje fijo (no cuentan con sistema de seguimiento solar). En el caso de nuestra instalación el ángulo será 30° coincidiendo con la inclinación del tejado dónde los paneles serán instalados. En segundo lugar, se deberá calcular el azimut solar o ángulo de orientación, como ya se ha definido anteriormente, se trata es el ángulo formado por los paneles con la dirección geográfica sur. Los valores son los siguientes: -90° es Este, 0° es Sur y 90° es Oeste. Como el tejado dónde serán instalados los módulos está orientado al sur (orientación óptima) el Azimut solar será 0.

Una vez introducidos todos los datos anteriormente expuestos, se obtienen los siguientes resultados:

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

Datos proporcionados:

Latitud/Longitud: 43.253, -4.068
Horizonte: Calculado
Base de datos: PVGIS-SARAH
Tecnología FV: Silicio cristalino
FV instalado: 3.15 kWp
Pérdidas sistema: 14 %

Resultados de la simulación

Ángulo de inclinación: 30 °
Ángulo de azimut: 0 °
Producción anual FV: 3609.15 kWh
Irradiación anual: 1446.1 kWh/m²
Variación interanual: 172.50 kWh
Cambios en la producción debido a:
Ángulo de incidencia: -2.85 %
Efectos espectrales: 1.3 %
Temperatura y baja irradiancia: -6.38 %
Pérdidas totales: -20.77 %

Perfil del horizonte:

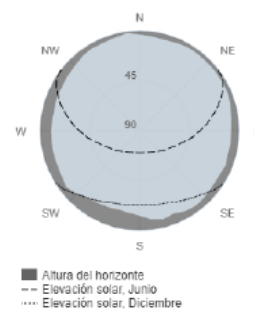


Figura 1.19. Valores estimados de producción eléctrica solar (Fuente: PVGIS)

En primer lugar, el programa muestra una tabla a modo de resumen que recoge los datos proporcionados de la instalación y los resultados obtenidos en la simulación. Donde podemos observar que la instalación tendrá una producción anual de 3609.15 kWh, producida gracias a una irradiación anual de 1446.1 kWh/m².

Producción de energía mensual del sistema FV fijo:

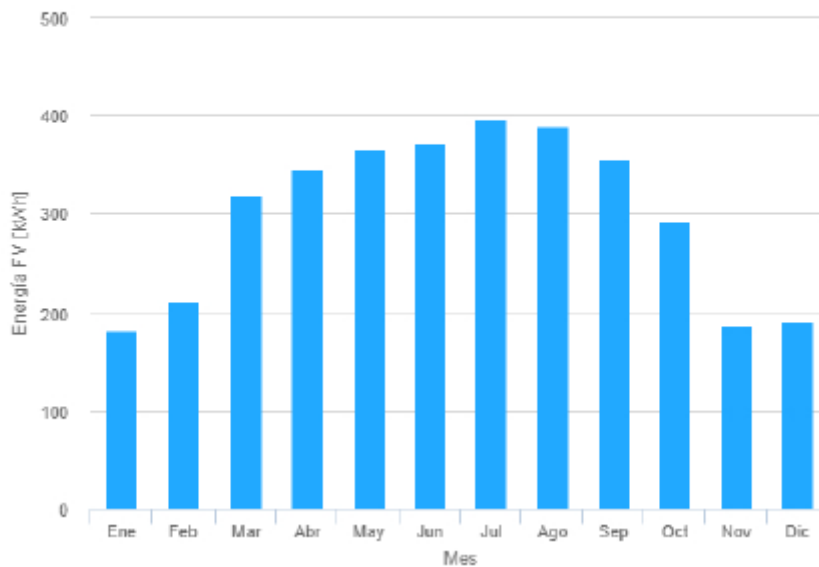


Figura 1.20. Producción de energía por meses (Fuente: PVGIS)

En segundo lugar, la aplicación nos muestra el gráfico anterior donde podemos ver la energía producida en cada mes del año. Como cabía esperar, se puede observar el gráfico tiene una forma similar a la de la campana de Gauss en la que los meses centrales y veraniegos del año es donde más producción energética hay. Obteniendo los valores mínimos en los meses invernales dónde la radiación de sol es mucho menor.

Irradiación mensual sobre plano fijo:

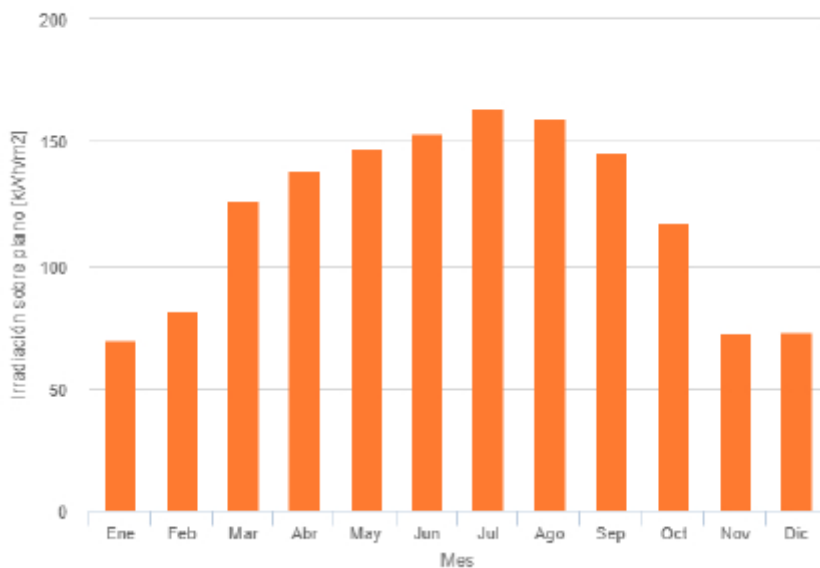


Figura 1.21. Irradiación solar por meses (Fuente: PVGIS)

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

El siguiente gráfico que nos ofrece el programa consiste en la cantidad de sol irradiada sobre la instalación solar fotovoltaica. La forma es igual, evidentemente, que la del gráfico de energía fotovoltaica producida puesto que, a mayor cantidad de radiación solar recibida, mayor cantidad de energía será producida por la instalación.

Finalmente, el programa recoge en la siguiente tabla la producción mes a mes en valores numéricos, así como la irradiación global recibida por metro cuadrado y la desviación estándar de estos valores.

Energía FV y radiación solar mensual

| Mes | E_m | H(i)_m | SD_m |
|------------|-------|--------|------|
| Enero | 182.5 | 70.0 | 30.0 |
| Febrero | 211.6 | 81.6 | 58.6 |
| Marzo | 319.6 | 125.9 | 51.6 |
| Abril | 345.5 | 138.5 | 45.4 |
| Mayo | 366.1 | 147.2 | 52.4 |
| Junio | 373.0 | 153.5 | 39.9 |
| Julio | 395.5 | 163.0 | 27.2 |
| Agosto | 389.6 | 159.6 | 35.1 |
| Septiembre | 355.0 | 144.9 | 26.5 |
| Octubre | 291.4 | 116.4 | 29.4 |
| Noviembre | 187.6 | 72.4 | 42.0 |
| Diciembre | 191.8 | 73.2 | 28.6 |

Tabla 1.3. Energía y radiación solar mensual (Fuente: PVGIS)

Donde:

E_m: Se trata del valor medio de electricidad producido para cada mes por el sistema [kWh].

H(i)_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m²].

SD_m: Desviación estándar

Teniendo en cuenta las características técnicas de los módulos solares fotovoltaicos seleccionados se ha escogido un inversor central de conexión a red al que serán conectados las dos strings o filas de módulos de forma independiente. Se trata del modelo de Inversor Red Growatt MIN 3600TL-XE, es un modelo nuevo de inversor de uno de los mayores fabricantes de inversores en todo el mundo, Growatt. Se trata de un equipo con gran calidad, cuyo diseño es compacto y moderno. El modelo elegido es el modelo monofásico de inferior potencia dentro de la gama MIN-XE, estando disponibles modelos de hasta 6000W. Esta familia de inversores dispone de 2 seguidores MPPT y un amplio rango de funcionamiento. Esta característica permite una amplia flexibilidad en el diseño e instalación de los módulos solares fotovoltaicos, lo que, unido a su amplio voltaje de funcionamiento, permitirá diseñar una distribución de paneles con 2 series o strings de distintas características eléctricas o también permitirá disponer orientaciones diferentes.

RAÚL MARTÍNEZ TERÁN

La función principal de estos inversores es ser conectados a la red eléctrica del lugar donde estén instalados para inyectar la energía producida por los paneles solares fotovoltaicos y ahorrar en la factura de electricidad. Ofrecen unas excelentes características que permiten lograr un plazo de amortización corto gracias a su ajustado precio.

Las características técnicas del inversor seleccionado serán expuestas en el siguiente punto.

-1.2.2 Características técnicas de los elementos de la instalación

Los módulos solares fotovoltaicos seleccionados para esta instalación son del proveedor Trina Solar y se trata del modelo: Panel Trina Solar HONEY BLACK TSM-DD06M De 315W - Monocristalino Full Black. (Referencia Trina HoneyBlack TSM-DD06M).

Se trata de un módulo monocristalino de 315W y tipo full black de la marca Trinasolar, uno de los fabricantes líderes en soluciones fotovoltaicas con categoría TIER 1.

La tecnología Half-Cell ofrecida por la serie de módulos solares de TrinaSolar, permite incrementar la eficiencia de los módulos. Esto se debe a la gran resistencia que presentan a las pérdidas que son producidas por sombras y corrientes extrañas.

Los módulos solares fotovoltaicos de este distribuidor cuentan con 10 años de garantía de producto y 25 años de garantía de potencia lineal, con eficiencias que rondan entre el 80% y el 97.5% durante los 25 años.

Las dimensiones del panel seleccionado son: 1698*1004*35mm con un peso de: 18,7 kg.

Estos paneles solares fotovoltaicos son óptimos para instalaciones solares orientadas al autoconsumo tanto residenciales como industriales. Los paneles solares son de buena calidad y cuentan con una gran resistencia, el material del que se componen es silicio monocristalino y el color es negro, lo que permite ofrecer una elegante estética, además es un color que permite ser integrado en la arquitectura sin causar grandes daños visuales.

Este tipo de equipos solares fotovoltaicos son muy versátiles, aunque tengan un tamaño reducido permiten producir grandes cantidades de energía y además son compatibles con la gran mayoría de componentes comunes de instalaciones de fotovoltaica.

Características del panel solar fullblack de TrinaSolar HONEY BLACK de 315W:

- Presenta una gran eficiencia cuando las condiciones de luminosidad son malas o el día está nublado. Este tipo de módulos fotovoltaicos cuentan con una texturización avanzada de la superficie, pasivación posterior de la célula y un emisor selectivo para ofrecer el máximo rendimiento en condiciones de poca luminosidad.

- Permiten el máximo aprovechamiento posible del tejado. Gracias a la mayor eficiencia obtenida con la tecnología Half-Cell. A pesar de su reducido tamaño, los módulos formados por 120 células de composición monocristalina de TrinaSolar pueden ofrecer potencias de hasta 315W gracias a esta tecnología.

- Este tipo de módulos tienen una gran fiabilidad gracias al riguroso control de calidad al que son sometidos todos los paneles solares de esta marca. Los módulos solares tienen

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

que superar una inspección de electroluminescencia y más de 30 test en fábrica. Además, este modelo en concreto es resistente a la degradación inducida por potenciales eléctricos y cuenta con Certificado UL1000V/IEC1000V.

- Los módulos solares fotovoltaicos cuentan con un certificado que permite su utilización bajo condiciones climatológicas extremas. Los módulos son resistentes a: rachas de viento de 130km/h (2400Pa), cargas de nieve de hasta 900kg por módulo (5400Pa), granizo de 35mm a 97km/h, además son resistentes al amoníaco, la brisa salina y a la abrasión provocada por la arena y el polvo.

Especificaciones técnicas:

| ELECTRICAL DATA (STC) | | | | | | |
|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peak Power Watts-PMAX (Wp)* | 315 | 320 | 325 | 330 | 335 | 340 |
| Power Output Tolerance-PMAX (W) | 0 ~ +5 | | | | | |
| Maximum Power Voltage-VMPP (V) | 33.2 | 33.4 | 33.6 | 33.8 | 34.0 | 34.2 |
| Maximum Power Current-IMPP (A) | 9.49 | 9.58 | 9.67 | 9.76 | 9.85 | 9.94 |
| Open Circuit Voltage-VOC (V) | 40.1 | 40.3 | 40.4 | 40.6 | 40.7 | 41.1 |
| Short Circuit Current-ISC (A) | 10.12 | 10.20 | 10.30 | 10.39 | 10.48 | 10.55 |
| Module Efficiency η_m (%) | 18.5 | 18.8 | 19.1 | 19.4 | 19.7 | 19.9 |
| STC: Irradiance 1000W/m ² , Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5. *Measuring tolerance: ±3%. | | | | | | |
| ELECTRICAL DATA (NMOT) | | | | | | |
| Maximum Power-PMAX (Wp) | 237 | 241 | 245 | 249 | 253 | 256 |
| Maximum Power Voltage-VMPP (V) | 30.9 | 31.1 | 31.3 | 31.5 | 31.7 | 32.0 |
| Maximum Power Current-IMPP (A) | 7.70 | 7.75 | 7.84 | 7.90 | 7.96 | 8.02 |
| Open Circuit Voltage-VOC (V) | 37.8 | 38.0 | 38.1 | 38.2 | 38.3 | 38.7 |
| Short Circuit Current-ISC (A) | 8.17 | 8.23 | 8.31 | 8.38 | 8.45 | 8.50 |
| NMOT: Irradiance at 800W/m ² , Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s. | | | | | | |

| MECHANICAL DATA | |
|----------------------|---|
| Solar Cells | Monocrystalline |
| Cell Orientation | 120 cells (6× 20) |
| Module Dimensions | 1698 × 1004 × 35 mm (66.85× 39.53 × 1.38 inches) |
| Weight | 18.7kg (41.2lb) |
| Glass | 3.2mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Tempered Glass |
| Encapsulant Material | EVA |
| Backsheet | Black |
| Frame | 35 mm (1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy |
| J-Box | IP 68 rated |
| Cables | Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), Portrait: N 140mm/P 285mm(5.51/11.22inches) Landscape: N 1200 mm /P 1200 mm (47.24/47.24 inches) |
| Connector | MC4 / TS4 |

Tabla 1.4. Especificaciones técnicas del panel solar (Fuente: Fabricante)

El inversor seleccionado para esta instalación es el Inversor Red Growatt MIN 3600TL-XE. Se trata de un inversor monofásico de autoconsumo que también se conoce como inversor de conexión a red. Este modelo es capaz de ofrecer, como su propio nombre indica, hasta 3600W de potencia pico de salida siempre y cuando los módulos fotovoltaicos dispongan de radiación solar suficiente. La principal ventaja que presenta este equipo es su reducido precio, lo que unido a la alta calidad que presenta lo convierte en una solución óptima para la instalación de esta vivienda. Este tipo de inversores son conocidos como inversores de conexión a red porque necesitan contar con la presencia de una red eléctrica existente en la que pueda ser conectado el inversor ya que necesita esa energía para comenzar su funcionamiento. El Inversor Red Growatt MIN 3600TL-XE es monofásico y está preparado para trabajar conectado a redes monofásicas con fase y neutro. Este equipo se encarga de verter a la red eléctrica de la vivienda la energía que sea producida por los módulos solares fotovoltaicos de la instalación que estarán conectados al inversor.

Características técnicas del Inversor Red Growatt MIN 3600TL-XE:

El Inversor Red Growatt MIN 3600TL-XE tiene el siguiente aspecto, además comentaremos sus diferentes partes y conexiones:

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos
conectados a la red en una vivienda particular

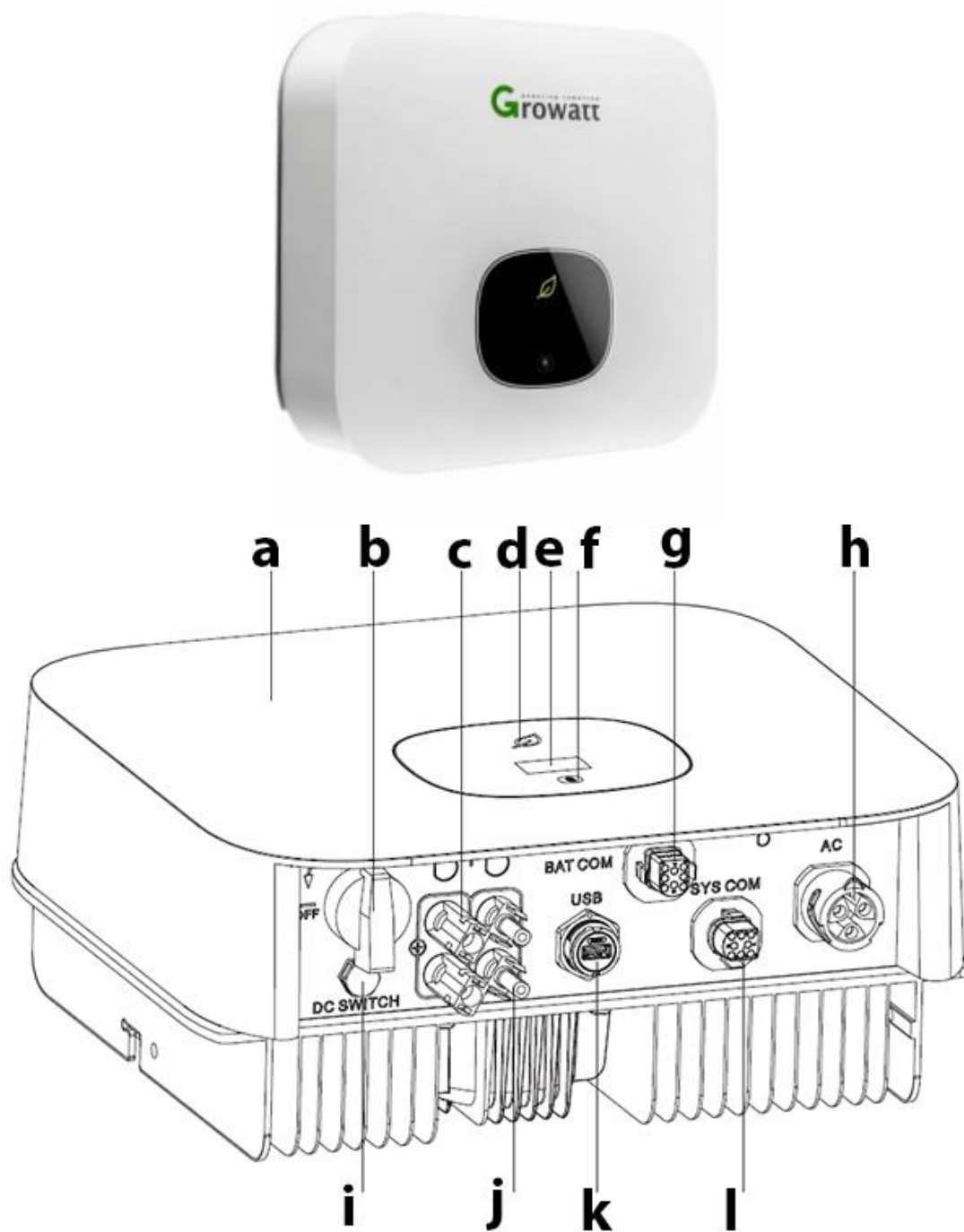


Figura 1.22. Esquema inversor (Fuente: fabricante)

- a- Cubierta exterior
- b- Interruptor de corriente continua
- c- Entrada fotovoltaica PV+
- d- Led
- e- Pantalla Oled

RAÚL MARTÍNEZ TERÁN

- f- Botón táctil
- g- Puerto DRM
- h- Salida de corriente alterna AC
- i- Válvula de ventilación
- j- Entrada fotovoltaica PV-
- k- Puerto USB
- l- Puerto de comunicaciones

Como todos los modelos de Growatt de la gama MIN-XE este modelo cuenta con dos reguladores MPPT, además lleva incorporado dos conectores MC4 positivos y otros dos negativos para poder conectar las dos filas de paneles o strings de manera independiente. Tanto en los modelos bajos de la gama como en el seleccionado para nuestra instalación, que cuenta con una potencia de pico de 3600W, es importante remarcar una característica, el equipo es capaz de arrancar a un voltaje muy bajo, lo que le permite empezar a producir electricidad cuando la radiación es muy baja y también puede seguir produciendo cuando las condiciones climatológicas son adversas como una mala luminosidad, lluvia o niebla de hasta cierta intensidad.

Las características técnicas del equipo son las siguientes:

Potencia máxima recomendada a conectar: 5040W

Voltaje máximo en CC: 550V

Voltaje de arranque: 100V

Rango de voltaje del MPPT: 80 – 550V

Voltaje nominal de funcionamiento: 360V

Intensidad máxima de entrada: 12.5A en cada MPPT

Intensidad máxima de cortocircuito: 16A

Número de seguidores MPPT: 2

Entradas fotovoltaicas para cada MPPT: 1

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

| Datasheet | MIN 3600TL-XE |
|---|--------------------------------|
| Input Data | |
| Max. recommended PV power (for module STC) | 5040W |
| Max. DC voltage | 550V |
| Start voltage | 100V |
| MPPT voltage range/ nominal voltage | 80V-550V /360V |
| Max. input current | 12.5A/12.5A |
| Max. short-circuit current | 16A/16A |
| Number of independent MPP trackers / strings per MPP tracker | 2/1 |
| Output (AC) | |
| Rated AC output power | 3600W |
| Max. AC apparent power | 3600VA |
| Max. output current | 16A |
| AC nominal voltage | 230V(160V-300V) |
| AC grid frequency | 50Hz/60Hz \pm 5Hz |
| Adjustable power factor | 0.8leading... 0.8lagging |
| THDI | <3% |
| AC connection | Single phase |
| Efficiency | |
| Max. efficiency | 98.2% |
| Euro weighted efficiency | 97.2% |
| MPPT efficiency | 99.9% |
| Protection Devices | |
| DC reverse polarity protection | yes |
| DC switch | yes |
| DC surge protection | Type II |
| Output over current protection | yes |
| AC surge protection-varistor | yes |
| Ground fault monitoring | yes |
| Grid monitoring | yes |
| Integrated all - pole sensitive leakage current monitoring unit | yes |
| General Data | |
| Dimensions (W / H / D) in mm | 375/350/160 |
| Weight | 10.8KG |
| Operating temperature range | - 25 ° C ... + 60 ° C |
| Noise emission (typical) | \leq 35 dB(A) |
| Altitude | 4000m |
| Self-Consumption night | < 1W |
| Topology | Transformerless |
| Cooling concept | Nature Convection |
| Environmental Protection Rating | IP65 |
| Relative humidity | 100% |
| Features | |
| DC connection | H4/MC4(opt) |
| AC connection | Connector |
| Display | OLED+LED |
| Interfaces: RS485 / USB / Wi-Fi/ 4G / RF | yes / yes / opt / opt / opt |
| Warranty: 5 years / 10 years | yes / opt |

Tabla 1.5. Especificaciones técnicas del inversor (Fuente: Fabricante)

-Las características de conectividad del inversor Red Growatt MIN 3600TL-XE Son las siguientes, incorpora un puerto USB que permite conectar el transmisor Wifi dotando así a la instalación de conectividad sin necesidad de contar con cables. Además, el inversor también cuenta con un puerto de comunicaciones con 8 pines donde se podrá conectar el sistema de cableado que lo conecta con el contador de energía. Con las lecturas obtenidas, el equipo transmitirá los datos de consumo y rendimiento de la vivienda. Estos datos podrán ser conocidos por el dueño de la instalación a través de una página web donde la instalación solar de autoconsumo estará registrada. En esa página, el dueño tendrá a su disposición toda la información relativa a los datos de producción, autoconsumo, y aprovechamiento de la instalación solar.

-Rendimiento del inversor Red Growatt MIN 3600TL-XE: Este equipo cuenta con una gran eficiencia de funcionamiento, con una cifra máxima del 98,2%, este valor es de los más altos del mercado para este tipo de inversores. El equipo tiene una eficiencia de su regulador MPPT del 99,9% y un rendimiento europeo del 97,1%. Lo que permitirá contar con uno de los rendimientos más superiores disponibles con un precio comedido, esto supondrá que la instalación solar fotovoltaica cuente con la mayor producción al menor coste posible.

-Dimensiones Inversor Red Growatt MIN 3600TL-XE: Todos los inversores Growatt de la familia MIN-XE tienen las mismas dimensiones físicas y el mismo peso, el esquema físico del inversor es el siguiente:

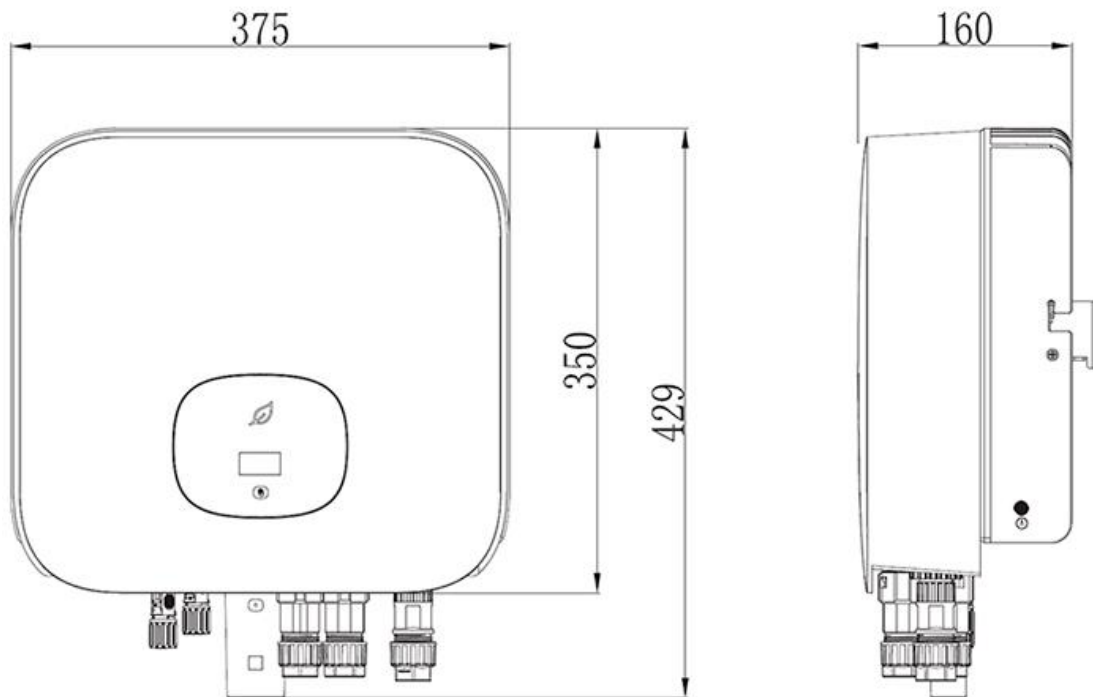


Figura 1.23. Dimensiones del inversor (Fuente: fabricante)

Con unas dimensiones de carcasa de 375 x 350 x 160 mm (Donde no se incluyen los conectores inferiores) estas dimensiones suponen que sea uno de los inversores más compactos del mercado. Además, tiene un reducido peso, inferior a los 11Kg.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

Este modelo de inversor no lleva transformador, lo que le permite contar con un peso tan ligero. El inversor cuenta con la certificación de protección IP65 lo que le habilita a estar instalado en exteriores, aunque es necesario que esté cubierto de la luz solar directa. El inversor cuenta con un sistema de disipación por convección natural, sin partes móviles como ventiladores, lo que se traduce en un bajo nivel sonoro, inferior a los 35 decibelios.

-Protecciones del equipo: El Inversor cuenta con numerosas protecciones eléctricas, lo que le permite cumplir con todos los estándares de seguridad requeridos para este tipo de equipos. Entre ellos, cabe remarcar la protección anti-isla, la inversión de polaridad, contra cortocircuitos, sobrecorriente, sobrevoltaje o exceso de temperatura. La garantía del Inversor Red Growatt MIN 3600TL-XE es de 5 años, ampliable opcionalmente hasta los 10 años.

El Inversor cuenta con las siguientes certificaciones, que aseguran el cumplimiento del equipo sobre los más variados estándares de redes eléctricas. Los certificados de los que dispone son los siguientes: CE, IEC62109, G98, G99, VFR2014, CEI0-21, VDE-AR-N4105, EN61727, IEC62116

-1.2.3 Ahorro energético y económico

Para realizar los cálculos de ahorro energético y económico han sido utilizados los datos de la producción esperada que se muestran en el anejo 1.2.1 de dimensionamiento y los datos de consumo mensual actual de la vivienda, es decir, los datos de partida para el proyecto, expuestos anteriormente en el punto 1.1.6 Demanda eléctrica de la vivienda.

Con la herramienta Excel se han realizado las siguientes tablas en las que podremos ver un resumen de los datos obtenidos y que serán explicadas a continuación.

En la primera tabla podemos observar el consumo mensual [kWh] de la vivienda actualmente, así como la cantidad total de energía consumida en un año.

RAÚL MARTÍNEZ TERÁN

| Mes | Consumo mensual (kW/h) |
|---------------|------------------------|
| Enero | 326 |
| Febrero | 360 |
| Marzo | 376 |
| Abril | 604 |
| Mayo | 813 |
| Junio | 455 |
| Julio | 368 |
| Agosto | 341 |
| Septiembre | 317 |
| Octubre | 256 |
| Noviembre | 219 |
| Diciembre | 244 |
| TOTAL: | 4679 |

Tabla 1.6. Consumo mensual (Elaboración propia)

En la segunda tabla está recogida la producción esperada de la instalación mensualmente y la producción total en un año. Estas dos primeras tablas presentan datos ya conocidos con anterioridad a modo de introducción a los cálculos.

| Mes | Producción mensual (kW/h) |
|---------------|---------------------------|
| Enero | 182,5 |
| Febrero | 211,6 |
| Marzo | 319,6 |
| Abril | 345,5 |
| Mayo | 366,1 |
| Junio | 373 |
| Julio | 395,5 |
| Agosto | 389,6 |
| Septiembre | 355 |
| Octubre | 291,4 |
| Noviembre | 187,6 |
| Diciembre | 191,8 |
| TOTAL: | 3609,2 |

Tabla 1.7. Producción mensual (Elaboración propia)

En la siguiente tabla podemos observar que cantidad de energía de la que la instalación producirá será auto consumida para las necesidades energéticas de la vivienda. Teniendo en cuenta los hábitos de consumo de los dueños de la vivienda, las horas que pasan en casa y las horas de producción de energía (las horas de luz solar) se ha estimado que el 35% de la energía producida y que se muestra en la tabla anterior será autoconsumida en ese mismo momento.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

| Mes | Energía autoconsumida (kW/h) |
|---------------|------------------------------|
| Enero | 63,875 |
| Febrero | 74,06 |
| Marzo | 111,86 |
| Abril | 120,925 |
| Mayo | 128,135 |
| Junio | 130,55 |
| Julio | 138,425 |
| Agosto | 136,36 |
| Septiembre | 124,25 |
| Octubre | 101,99 |
| Noviembre | 65,66 |
| Diciembre | 67,13 |
| TOTAL: | 1263,22 |

Tabla 1.8. Energía autoconsumida (Elaboración propia)

Por lo tanto, si el 35% de energía es autoconsumido, el 65% restante deberá ser obtenido de la red de distribución pagando su correspondiente precio a la empresa comercializadora. Este precio se calcula con un término fijo por la potencia contratada y un término variable en función del consumo. Los cálculos económicos se han calculado en función de los precios de la tarifa que tienen actualmente contratada en la vivienda.

Importe fijo diario: 0.140087 Eur/kW multiplicado por los kW de potencia contratados, en este caso 5.75 kW este importe se multiplica por el número de días que tiene cada mes y se suma al término variable en función del consumo.

Importe variable: 0.161642 Eur/kWh multiplicado por el consumo mensual en kWh.

En la siguiente tabla se muestra la energía que es comprada a la comercializadora cada mes y el importe que se paga por ella.

| Mes | Consumo de la red (kW/h) | Coste de la energía consumida (€) |
|---------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Enero | 262,125 | 67,340917 |
| Febrero | 285,94 | 71,19042123 |
| Marzo | 264,14 | 67,66662563 |
| Abril | 483,075 | 103,0557169 |
| Mayo | 684,865 | 135,6734561 |
| Junio | 324,45 | 77,41525465 |
| Julio | 229,575 | 62,0794699 |
| Agosto | 204,64 | 58,04892663 |
| Septiembre | 192,75 | 56,12700325 |
| Octubre | 154,01 | 49,86499217 |
| Noviembre | 153,34 | 49,75669203 |
| Diciembre | 176,87 | 53,56012829 |
| TOTAL: | 3415,78 | 851,7796038 |

Tabla 1.9. Energía consumida de la red y coste económico (Elaboración propia)

Como se ha comentado ya, solo un 35% de la energía producida por los módulos solares fotovoltaicos es autoconsumida. El 65% restante se vierte a la red y la comercializadora de energía paga una compensación económica por esta energía. Esta compensación será la mitad del importe que paga el cliente cuando consume energía, es decir: 0.080821 Eur/kWh. Teniendo en cuenta este precio en la siguiente tabla se muestra la cantidad de energía vertida a la red mes a mes, así como el importe percibido por dicha energía.

| Mes | Excedente Vertido (kW/h) | Compensación económica (€) |
|---------------|--------------------------|----------------------------|
| Enero | 118,625 | 9,587391125 |
| Febrero | 137,54 | 11,11612034 |
| Marzo | 207,74 | 16,78975454 |
| Abril | 224,575 | 18,15037608 |
| Mayo | 237,965 | 19,23256927 |
| Junio | 242,45 | 19,59505145 |
| Julio | 257,075 | 20,77705858 |
| Agosto | 253,24 | 20,46711004 |
| Septiembre | 230,75 | 18,64944575 |
| Octubre | 189,41 | 15,30830561 |
| Noviembre | 121,94 | 9,85531274 |
| Diciembre | 124,67 | 10,07595407 |
| TOTAL: | 2345,98 | 189,6044496 |

Tabla 1.10. Energía vertida a la red y compensación económica (Elaboración propia)

Por último, en la siguiente tabla se mostrará una comparativa del precio que se paga por la electricidad cada mes antes de tener la instalación y el precio que se pagará después de restar al dinero que el cliente deberá abonar a la empresa comercializadora por la energía consumida el dinero que la comercializadora pagará al cliente en concepto de compensación por los excedentes de energía de la instalación que serán vertidos a la red, así como el ahorro mensual. Podemos comprobar como el ahorro cada año será de 393.79386 euros. Este ahorro irá en incremento proporcionalmente a la subida de la energía, que se estima entre el 3% y el 5%.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos
conectados a la red en una vivienda particular

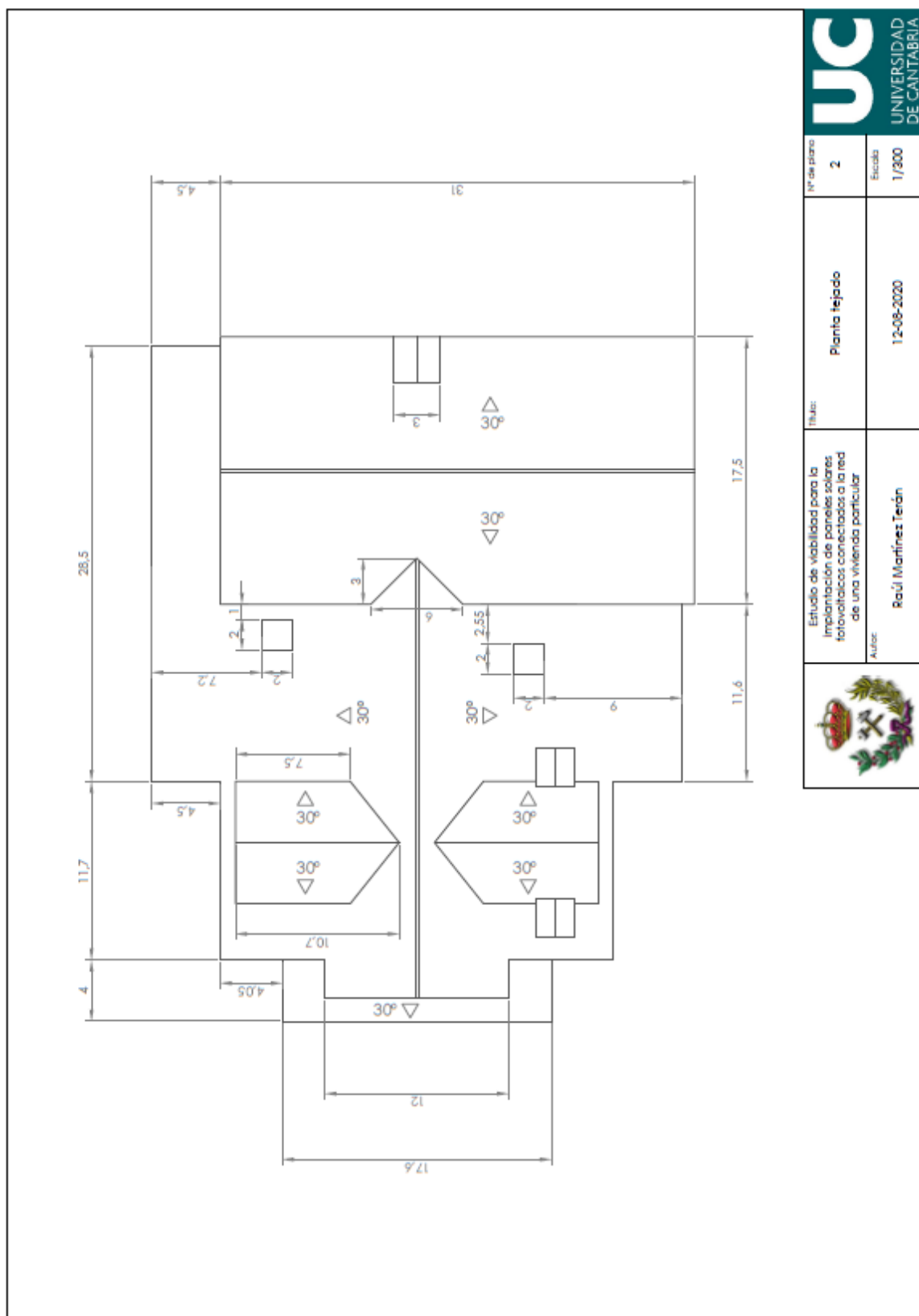
| Mes | Coste económico antes de la instalación (€) | Con instalación | |
|---------------|---|--------------------------------------|-------------------|
| | | Coste de la energía-Compensación (€) | Ahorro (€) |
| Enero | 77,66579975 | 57,75352588 | 19,9122739 |
| Febrero | 83,16162775 | 60,07430089 | 23,0873269 |
| Marzo | 85,74789975 | 50,87687109 | 34,8710287 |
| Abril | 122,6022758 | 84,90534083 | 37,6969349 |
| Mayo | 156,3854538 | 116,4408868 | 39,9445669 |
| Junio | 98,51761775 | 57,8202032 | 40,6974146 |
| Julio | 84,45476375 | 41,30241133 | 43,1523524 |
| Agosto | 80,09042975 | 37,58181659 | 42,5086132 |
| Septiembre | 76,21102175 | 37,4775575 | 38,7334643 |
| Octubre | 66,35085975 | 34,55668656 | 31,7941732 |
| Noviembre | 60,37010575 | 39,90137929 | 20,4687265 |
| Diciembre | 64,41115575 | 43,48417422 | 20,9269815 |
| TOTAL: | 1055,969011 | 662,1751542 | 393,793857 |

Tabla 1.11. Ahorro económico (Elaboración propia)

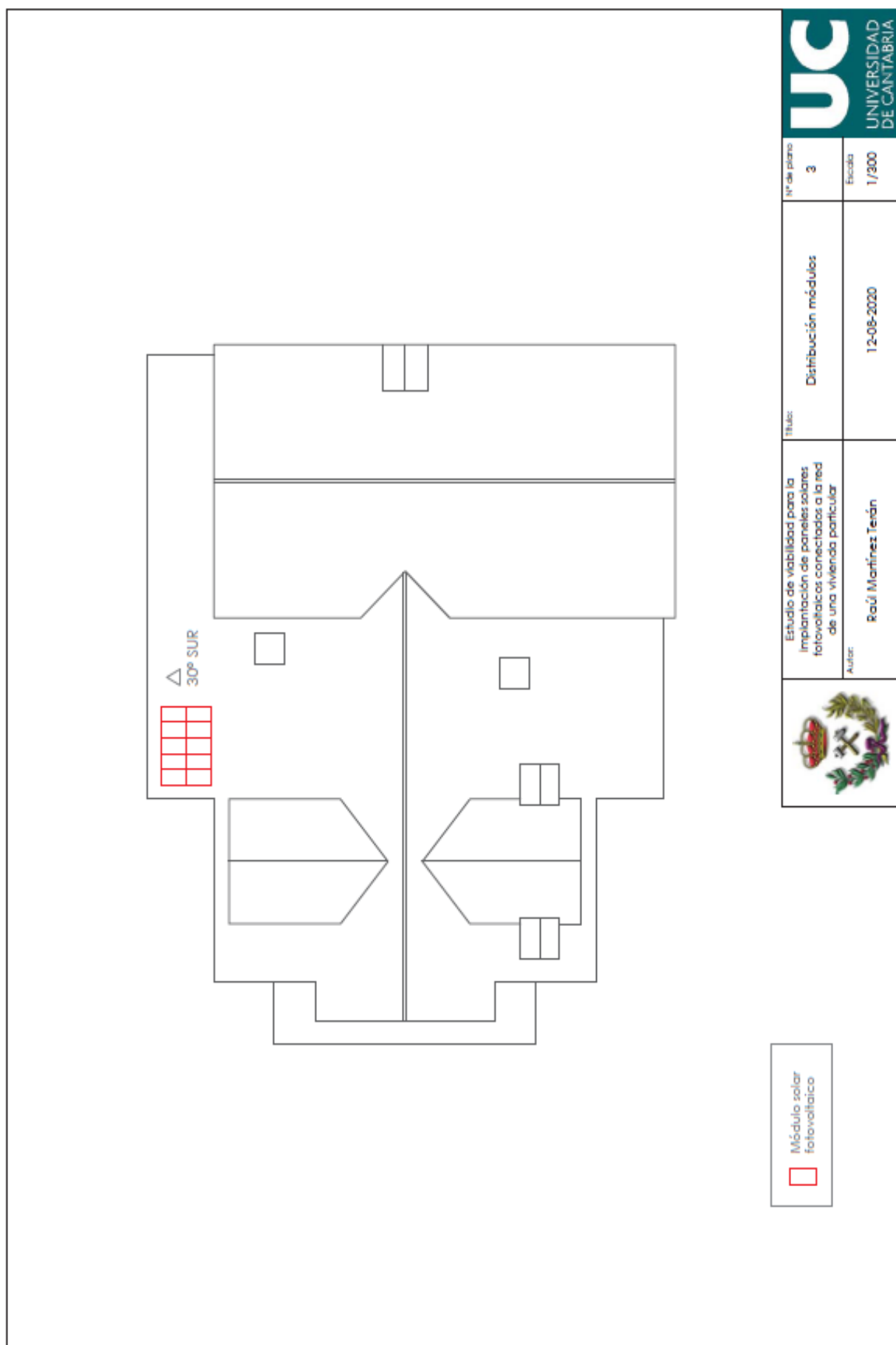
2.PLANOS



Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular



| | |
|---|--|
|  | <p>UNIVERSIDAD DE CANTABRIA</p> |
| | <p>Nº de plano 2</p> <p>Escala 1/300</p> |
| <p>Tema:</p> <p>Estudio de Viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red de una vivienda particular</p> | <p>Planta tejado</p> <p>12-08-2020</p> |
| <p>Autor:</p> <p>Raúl Martínez Terán</p> | |



Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

3. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES

-3.1 Objeto

El objetivo principal de este pliego de prescripciones es determinar las condiciones técnicas mínimas que debe cumplir esta instalación solar fotovoltaica conectada a la red para su correcto funcionamiento y asegurar que se cumplan las medidas de seguridad pertinentes.

El documento pretende determinar los requisitos de calidad final que la instalación deberá cumplir en lo referido a su rendimiento, producción y seguridad.

El ámbito de aplicación en el que estará englobado este Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares (a partir de ahora, PPTP) es extensible a todos los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que componen la instalación solar fotovoltaica de autoconsumo.

En algunos casos, podrán ser adoptados, debido a la propia naturaleza de los mismos o del desarrollo tecnológico, distintas soluciones a las requeridas en este PPTP, siempre que la necesidad de su implantación esté totalmente justificada y siempre y cuando no supongan una disminución en las condiciones de calidad exigidas originalmente en este documento.

-3.2 Condiciones generales

La aplicación de este PPTP estará íntegramente destinada a instalaciones solares fotovoltaicas destinadas a la producción de electricidad con excedentes que puedan ser inyectados a la red de distribución. Quedan excluidas expresamente las instalaciones aisladas de la red por sus diferentes características técnicas.

-3.3 Componentes y materiales

-Módulos solares fotovoltaicos

El módulo fotovoltaico seleccionado en este proyecto será Trina Solar Modelo HONEY BLACK TSM-DD06M De 315W - Monocristalino Full Black, Estos equipos deberán incorporar el marcado CE, según la Directiva 2006/95/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.

Además, estos elementos tendrán la obligación de cumplir la norma UNE-EN 61730, armonizada para la Directiva 2006/95/CE, sobre cualificación de la seguridad de módulos fotovoltaicos, y la norma UNE-EN 50380, sobre informaciones de las hojas de datos y de las placas de características para los módulos fotovoltaicos. Adicionalmente, debido a su tecnología, éste deberá satisfacer la siguiente norma UNE: UNE-EN 61215: Módulos

fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para uso terrestre. Cualificación del diseño y homologación.

Considerando que los módulos solares fotovoltaicos estarán integrados en la edificación, además de tener que estar en consonancia con la anterior normativa, también deberán cumplir con lo previsto en la Directiva 89/106/CEE del Consejo de 21 de diciembre de 1988 relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los productos de construcción.

En el caso de haber equipos, que no puedan ser testeados de acuerdo a lo dispuesto en las normativas anteriormente nombradas, esos módulos deberán acreditar el cumplimiento de los requisitos mínimos marcados en las normativas a través de otros medios, esto deberá estar demostrado de manera previa a la inscripción definitiva en el registro de régimen especial dependiente del órgano competente de la comunidad dónde sea puesta en funcionamiento la instalación.

Será de obligado cumplimiento presentar una justificación de los motivos que impiden que los elementos sean testeados en función de la normativa, además se deberá demostrar el cumplimiento de los requisitos citados, estas dos justificaciones deberán ser presentadas por escrito al órgano competente, en este caso, la Dirección General de Política Energética y Minas, que será el encargado de determinar si la documentación presentada cumple con la determinada normativa o por el caso contrario no cumple con los estándares de calidad necesarios.

Todos los módulos solares fotovoltaicos deberán tener, de una manera que se pueda ver con claridad y que no se borre con el paso del tiempo, una pegatina o inscripción donde aparezca cual es el modelo, que empresa ha sido la encargada de su fabricación, la fecha de fabricación y el número de serie del equipo.

Los equipos utilizados deberán cumplir con las características técnicas que se describen a continuación:

- Los paneles solares fotovoltaicos tendrán que contar con diodos de derivación cuya función consiste en prevenir fallos en las células solares fotovoltaicas o en sus circuitos debidos a sombreados parciales además deberán estar provistos de una protección IP65 por estar ubicados en el exterior.

- Los marcos laterales de los módulos solares fotovoltaicos, en el caso de tenerlos, deberán estar fabricados con los siguientes materiales: aluminio o acero inoxidable.

- Los módulos que compongan la instalación, deberán tener una potencia máxima y una corriente de cortocircuito reales (estudiadas en condiciones estándar) que no superen por exceso ni por defecto un tres por ciento de los correspondientes valores que el fabricante suministre en las especificaciones técnicas recogidas en la documentación de los equipos.

- En el caso de que se compruebe que alguno de los módulos antes de ser instalado presenta algún tipo de defecto como roturas o manchas en cualquiera de los elementos que lo componen, o una falta de alineación en las células o burbujas en el encapsulante deberá ser rechazado y devuelto al fabricante.

Para el correcto funcionamiento de la instalación será altamente recomendable la utilización de células de alta eficiencia.

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

-Estructura de soporte

La estructura cuyo objetivo es sostener los módulos solares fotovoltaicos deberá cumplir una serie de especificaciones técnicas que serán expuestas a continuación. En todo momento se deberán cumplir los aspectos recogidos en el Código Técnico de la Edificación en materia de seguridad.

La estructura para el soporte de los módulos tendrá la capacidad de permanecer intacta, cuando todos los equipos estén instalados, además se deberán tener en cuenta las posibles sobrecargas producidas por la acción del viento y la nieve, cumpliendo lo recogido en el Código Técnico de la edificación y demás normativa de aplicación.

Para el diseño y la construcción de la citada estructura y el sistema que permita anclar los equipos, se deberán tener en cuenta las necesarias dilataciones térmicas en los materiales, de manera que no transmitan cargas que puedan afectar al funcionamiento de los equipos. En este aspecto se deberán seguir las indicaciones del fabricante.

La estructura deberá estar provista de una cantidad suficiente de puntos de sujeción para el módulo fotovoltaico, para ello se deberá tener en cuenta el área de apoyo disponible y la posición, es totalmente imprescindible que no se produzcan flexiones en los módulos que estén por encima de las permitidas por el fabricante de los módulos.

El sistema de soporte de los paneles será diseñado cumpliendo con la orientación y el ángulo de diseño de la instalación. En este caso una orientación sur, con un ángulo de 30 grados, además se deberá tener en consideración la búsqueda de simplicidad para el montaje y desmontaje, y la posibilidad de tener que sustituir algún elemento de la instalación en el futuro.

El material que componga la estructura deberá tener, al menos, la superficie exterior protegida ante la acción de las distintas condiciones meteorológicas. En el caso de tener que realizar agujeros en la estructura, será necesario procurar que sean realizados de manera previa al galvanizado o protección exterior de la estructura para no generar puntos débiles en la estructura.

El material de los tornillos utilizados para la sujeción de la estructura será acero inoxidable. Excepto si la estructura es galvanizada, en cuyo caso, los tornillos también podrán serlo, a excepción de los elementos encargados de el anclaje de los equipos a la propia estructura, que, en todo caso serán de acero inoxidable

Es necesario para el correcto funcionamiento de la instalación que los elementos encargados de la sujeción de los paneles solares o cualquier elemento de la estructura no arrojen sombra sobre los equipos.

Se proporcionarán todos los elementos que sean necesarios para el correcto montaje de los módulos en virtud de lo que el fabricante dicte en las características técnicas. Evitando en todo momento la formación de sombras que eviten el funcionamiento óptimo de la instalación.

-Inversor

El inversor deberá permitir la conexión a la red eléctrica existente, y deberá tener una potencia de entrada que pueda variar, esto permitirá que el inversor tenga la capacidad de

RAÚL MARTÍNEZ TERÁN

ajustar su funcionamiento para poder lograr en cada instante del día la máxima cantidad de electricidad que pueda producir la instalación solar fotovoltaica.

Los principales requerimientos del inversor seleccionado para la instalación serán los siguientes:

- Para su funcionamiento será necesario que esté conectado a una fuente de corriente.
- El inversor deberá ser autoconmutado.
- El inversor estimará de forma automática el punto de trabajo para obtener la máxima potencia de la instalación para cada momento del día.
- El inversor no podrá funcionar en modo isla.

Es necesario que el inversor de la instalación cumpla con lo establecido en los siguientes reglamentos:

- UNE-EN 62093: Componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos. Cualificación del diseño y ensayos ambientales.
- UNE-EN 61683: Sistemas fotovoltaicos. Acondicionadores de potencia. Procedimiento para la medida del rendimiento.
- IEC 62116: Testing procedure of islanding prevention measures for utility interactive photovoltaic inverters.

El inversor deberá estar fabricado con respecto a lo establecido en las directivas comunitarias de Seguridad Eléctrica y Compatibilidad Electromagnética. El cumplimiento de estas normativas deberá ser acreditado por el fabricante del inversor, además, el equipo deberá contar con elementos de protección ante los supuestos expuestos a continuación:

- Cortocircuitos en corriente alterna.
- Tensión de red fuera de rango.
- Frecuencia de red fuera de rango.
- Protección frente a las sobretensiones mediante varistores o elementos similares.
- Protección frente a perturbaciones presentes en la red como microcortes, pulsos, defectos de ciclos, ausencia y retorno de la red, etc.

A parte de todo lo anterior, el inversor cumplirá con la Directiva 2004/108/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética.

El equipo deberá contar con las señalizaciones que sean necesarias para poder operar adecuadamente y deberá contar con los controles que aseguren de manera automática la correcta utilización y funcionamiento evitando accidentes o una mala utilización.

Además, el inversor deberá contar con los siguientes controles manuales, como mínimo:

- Botón de encendido y apagado general del inversor.
- Conexión y desconexión del inversor a la interfaz CA

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

Finalmente se enumerarán las características eléctricas que deberá cumplir el inversor:

-El inversor deberá continuar inyectando energía eléctrica en la red de manera ininterrumpida cuando las condiciones de irradiancia proveniente del sol estén un diez por ciento por encima de las condiciones estándar de medida en las que habrá sido ensayado previamente. Y, de la misma forma, será capaz de soportar en momentos puntuales de hasta diez segundos un aumento de hasta un treinta por ciento de las condiciones estándar de medida.

-El rendimiento de la potencia del inversor que es calculado como el cociente entre la potencia activa obtenida a la salida del inversor y la potencia activa a la entrada de este, será como mínimo del noventa y dos por ciento. Este cálculo deberá ser realizado siguiendo las especificaciones de la normativa UNE-EN 6168: que trata sobre sistemas fotovoltaicos, acondicionadores de potencia y el procedimiento para la medida del rendimiento.

-La energía autoconsumida por los equipos, que también se conoce como pérdidas en vacío, en “standby” o modo nocturno deberá ser inferior al 2 % de su potencia nominal de salida.

-El factor de potencia del inversor deberá ser superior a un noventa y cinco por ciento

-Cuando la potencia sea mayor de un diez por ciento de la potencia nominal, el inversor deberá inyectar energía a la red eléctrica.

Como el inversor estará situado en la calle deberá contar con una protección IP65.

El equipo deberá ser capaz de funcionar para condiciones meteorológicas de entre cero y cuarenta grados centígrados y deberá soportar una humedad relativa de entre el cero y el ochenta y cinco por ciento.

-Conexión a la red

La instalación objeto del proyecto tiene una potencia menor de 100 Kw, por lo tanto, deberá atenerse a la normativa expuesta en el Real Decreto 1663/2000 (artículos 8 y 9) sobre la conexión de instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.

-Aparatos de medida

Los equipos de medida que formen parte de la instalación deberán cumplir con lo establecido en el Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, mediante el cual fue aprobado el Reglamento Unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.

-Puesta a tierra de las instalaciones solares fotovoltaicas

La instalación deberá cumplir con lo dispuesto en el Real Decreto 1663/2000 (artículo 12) sobre las condiciones de puesta a tierra en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.

En el caso de que el aislamiento galvánico entre la red de distribución y el generador fotovoltaico no sea llevado a cabo a través de un transformador de aislamiento, será

RAÚL MARTÍNEZ TERÁN

necesaria la explicación detallada en la Memoria de Diseño o Proyecto de los elementos que hayan sido elegidos para realizar este cometido.

Los elementos de la instalación que deban tener conexión a tierra por seguridad deberán ser conectadas a una única tierra que no podrá coincidir con la del neutro de la empresa distribuidora de electricidad, tal y como establece el REBT (reglamento electrotécnico de baja tensión).

-Cableado de la instalación

Será necesario conducir los positivos y negativos de cada conjunto de paneles de forma separada y adecuadamente protegidos en la forma que establece la legislación actual.

Los conductores utilizados en la instalación deberán ser de cobre y se dimensionarán con una sección adecuada que evite caídas de tensión y calentamientos. Sin un sobredimensionamiento que suponga un aumento de coste innecesario en la instalación. Es necesario que la sección sea suficiente para evitar que para cualquier régimen de trabajo la caída de tensión máxima siempre esté por debajo del 1.5 por ciento.

La longitud de los cables utilizados deberá ser en todo caso la mínima que no genere esfuerzos en los elementos conectados y que evite la posibilidad de que los operarios que trabajen en el tejado puedan tropezar por la longitud sobrante de los cables.

Por último, el cableado utilizado en la instalación deberá contar con doble aislamiento y deberá superar los estándares adecuados para su uso en intemperie, al aire o enterrado, de acuerdo con la norma UNE 21123.

-Protecciones

Los elementos que componen la instalación deberán seguir la normativa extraída del Real Decreto 1663/2000 (artículo 11) sobre protecciones en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.

Con respecto a la conexión a la red trifásica, las protecciones deberán proveer que en ningún caso la interconexión tenga una frecuencia superior a 51 hercios ni inferior a 49 hercios para un correcto funcionamiento de la red.

-Armónicos y compatibilidad electromagnética

La instalación deberá seguir las directrices marcadas en el Real Decreto 1663/2000 (artículo 13) sobre armónicos y compatibilidad electromagnética en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.

-Medidas de seguridad

La instalación deberá contar con un sistema de protección que asegure que la instalación sea desconectada si se produce algún tipo de fallo en la red o algún fallo interno, en el caso de que estos fallos puedan interrumpir el funcionamiento correcto de la red.

Es necesario la utilización de un sistema que no permita a la instalación funcionar en modo de “isla” respecto a la red de distribución de electricidad en el caso de que esta sea desconectada de la red general. El sistema de protección deberá actuar y desconectar la

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular
instalación antes del tiempo máximo que marque el correspondiente reglamento de aplicación.

La instalación deberá estar provista de los elementos que sean necesarios para que pueda ser reenganchada a la red de distribución evitando cualquier tipo de daño. También se deberá evitar que, estando conectada, produzca algún tipo de sobretensión con el consiguiente peligro que supondría para la integridad de otros equipos.

El técnico encargado de instalar los equipos tendrá la obligación de entregar al propietario de la instalación un resumen en el que quede constancia de todos los componentes y materiales utilizados, así como su manual de uso en el que aparezcan las especificaciones técnicas y las condiciones necesarias para el mantenimiento.

Con carácter previo a la primera puesta en marcha de los equipos, será necesario comprobar que los elementos que componen la instalación hayan superado los tests realizados por el fabricante necesarios previos a la utilización y será obligatorio comprobar los certificados de calidad. Después de estas comprobaciones se deberán realizar pruebas de arranque y parada para diferentes condiciones de funcionamiento.

-3.4 Mantenimiento

Para garantizar el correcto funcionamiento de la instalación solar fotovoltaica a lo largo de su vida útil, será necesario llevar a cabo la realización de un mantenimiento periódico de los diferentes elementos que la componen, es recomendable la firma de un contrato de mantenimiento preventivo y correctivo. Todas las operaciones para el mantenimiento que impliquen manipular la instalación o cambiar algún componente de la instalación deberán ser realizadas siempre por personal técnico cualificado, la responsabilidad del cumplimiento del anterior requisito será de la empresa encargada de la realización de dicho mantenimiento, además será obligatorio que cualquier intervención que sea llevada a cabo quede registrada en un informe técnico que deberá ser firmado por el técnico cualificado.

Es necesario que periódicamente se lleve a cabo una inspección visual de la instalación, y una posterior comprobación del correcto funcionamiento de todos los elementos de la instalación. Esta actividad deberá realizarse, como mínimo, de manera anual y se llevarán a cabo las siguientes comprobaciones técnicas:

- Será comprobado el estado de los módulos solares utilizando el interruptor seccionador en el caso de que sea necesario llevar cabo labores correctivas.
- Se deberá comprobar el estado de la estructura de soporte de la instalación.
- Se comprobará el estado de las protecciones y conexiones eléctricas.
- Se comprobará el correcto funcionamiento del inversor.

Además, con independencia de revisión anterior el técnico cualificado deberá llevar a cabo la sustitución o arreglo de los elementos de la instalación que hayan sido dañados en el caso de haberlos, de forma que se asegure el correcto funcionamiento de la instalación. Este tipo de mantenimiento no se realizará de forma periódica, sino que se llevará a cabo en el momento que el dueño de la instalación lo requiera debido a que ha

notificado algún tipo de avería, en el caso de que esto ocurra, la empresa encargada del mantenimiento tendrá la obligación de atender la incidencia en un plazo de tiempo inferior a una semana y la avería se reparará a la mayor brevedad posible, en todo caso siempre con un plazo inferior a dos semanas.

En el caso de que un elemento sea dañado, si se han cumplido correctamente las condiciones de garantía, el elemento se encuentra en el plazo de garantía establecido en su manual y el defecto se debe a un fallo de fabricación y no a una negligencia del usuario la empresa suministradora correrá con todos los costes generados por la sustitución del elemento dañado.

-3.5 Garantías

El periodo mínimo de garantía será de tres años para todos los elementos que forman parte de la instalación.

Según lo establecido en el punto anterior, cuando los elementos que componen la instalación certificada se encuentren dentro del periodo de garantía marcado por el fabricante y aparezca algún tipo de avería a causa de un defecto de fabricación de cualquiera de los componentes, en el caso de que hayan sido puestos en funcionamiento y utilizados de manera responsable y siguiendo las directrices marcadas por el manual de usuario el coste será asumido por el fabricante de dicho elemento. En el caso de un uso negligente de la instalación la garantía quedará anulada. También quedará anulada la garantía en el caso de que se efectúe algún cambio o reparación en la instalación llevado a cabo por una persona no autorizada.

La aplicación de la garantía puede ser llevada a cabo de dos formas, el componente averiado puede ser reparado o sustituido completamente cuando sea necesario. El coste extraído de la mano de obra, en el caso de haberlo, también será asumido por la empresa responsable.

La vida útil de una instalación solar es de 25 años como mínimo, aunque hay casos de instalaciones que superan los 30 años y continúan funcionando correctamente. El fabricante de los paneles solares garantiza el 90% de producción durante los 10 primeros años y un mínimo de 80% a los 25 años. [14]

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos
conectados a la red en una vivienda particular

4. PRESUPUESTO.

-4.1 Mediciones

| Capítulo 1: Acondicionamiento previo | | | |
|--------------------------------------|--------|--|-------------|
| Orden | Unidad | Designación | Nº unidades |
| 1.1 | Ud. | Unidad de retirada de protecciones en la cubierta de la vivienda y apertura de agujeros con el diámetro necesario para que todo el cableado atraviese la instalación | 1 |
| Capítulo 2: Equipos e instalaciones | | | |
| Orden | Unidad | Designación | Nº unidades |
| 2.1 | Ud. | Módulo Trina solar HONEY BLACK TSM-DD06M DE 315 W e instalación | 10 |
| 2.2 | Ud. | Inversor Red Growatt MIN 3600 TL-XE | 1 |
| 2.3 | Ud. | Armario de poliester para protecciones | 1 |
| 2.4 | Ud. | Fusibles y protecciones | 1 |
| 2.5 | Ud. | Interruptor automático | 1 |
| 2.6 | Ud. | Interruptor diferencial | 1 |
| 2.7 | m | Cable de cobre de 6 mm ² no propagador de la llama y resistente a la intemperie | 100 |
| 2.8 | Ud. | Estructura para soportar los módulos solares compuesta de perfiles de aluminio | 1 |
| Capítulo 3: Seguridad y salud | | | |
| Orden | Unidad | Designación | Nº unidades |
| 3.1 | Ud. | Elementos de protección necesarios para instalar los equipos | 1 |

-4.2 Cuadros de precios N°1 y N°2

Cuadro de precios N°1:

| Capítulo 1: Acondicionamiento previo | | | |
|---|---------------|--|--------------------------|
| Orden | Unidad | Designación | Precio Unidad |
| 1.1 | Ud. | Unidad de retirada de protecciones en la cubierta de la vivienda y apertura de agujeros con el diámetro necesario para que todo el cableado atraviese la instalación | 255,36 |
| Capítulo 2: Equipos e instalaciones | | | |
| Orden | Unidad | Designación | Precio Unidad |
| 2.1 | Ud. | Módulo Trina solar HONEY BLACK TSM-DD06M DE 315 W e instalación | 181,99 |
| 2.2 | Ud. | Inversor Red Growatt MIN 3600 TL-XE | 879,40 |
| 2.3 | Ud. | Armario de poliester para protecciones | 132,97 |
| 2.4 | Ud. | Fusibles y protecciones | 83,14 |
| 2.5 | Ud. | Interruptor automático | 41,42 |
| 2.6 | Ud. | Interruptor diferencial | 40,54 |
| 2.7 | m | Cable de cobre de 6 mm ² no propagador de la llama y resistente a la intemperie | 4,94 |
| 2.8 | Ud. | Estructura para soportar los módulos solares compuesta de perfiles de aluminio | 1064,24 |
| Capítulo 3: Seguridad y salud | | | |
| Orden | Unidad | Designación | Precio Unidad |
| 3.1 | Ud. | Elementos de protección necesarios para instalar los equipos en el tejado | 432,65 |

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red en una vivienda particular

Cuadro de precios N°2:

| Capítulo 1: Acondicionamiento previo | | | |
|---|---|----------------------|--------------------|
| Orden | Designación | Coste parcial | Coste total |
| 1.1 | Unidad de retirada de protecciones en la cubierta de la vivienda y apertura de agujeros con el diámetro necesario para que todo el cableado atravesase la instalación | | 255,36 |
| | Mano de obra | 160,26 | |
| | Materiales | 49,4 | |
| | Medios auxiliares | 38,26 | |
| | 3% costes indirectos | 7,44 | |
| Capítulo 2: Equipos e instalaciones | | | |
| Orden | Designación | Coste parcial | Coste total |
| 2.1 | Módulo Trina solar HONEY BLACK TSM-DD06M DE 315 W e instalación | | 181,99 |
| | Mano de obra | 18,25 | |
| | Materiales | 141,41 | |
| | Medios auxiliares | 17,03 | |
| | 3% costes indirectos | 5,30 | |
| 2.2 | Inversor Red Growatt MIN 3600 TL-XE | | 879,40 |
| | Mano de obra | 24,22 | |
| | Materiales | 733,33 | |
| | Medios auxiliares | 96,24 | |
| | 3% costes indirectos | 25,61 | |
| 2.3 | Armario de poliéster para protecciones | | 132,97 |
| | Mano de obra | 4,1 | |
| | Materiales | 125 | |
| | Medios auxiliares | 0 | |
| | 3% costes indirectos | 3,87 | |
| 2.4 | Fusibles y protecciones | | 83,14 |
| | Mano de obra | 14,56 | |
| | Materiales | 64,87 | |
| | Medios auxiliares | 1,29 | |
| | 3% costes indirectos | 2,42 | |
| 2.5 | Interruptor automático | | 41,42 |
| | Mano de obra | 14,56 | |
| | Materiales | 25,09 | |
| | Medios auxiliares | 0,56 | |
| | 3% costes indirectos | 1,21 | |
| 2.6 | Interruptor diferencial | | 40,54 |
| | Mano de obra | 14,56 | |
| | Materiales | 24,24 | |
| | Medios auxiliares | 0,56 | |
| | 3% costes indirectos | 1,18 | |
| 2.7 | Cable de cobre de 6 mm ² no propagador de la llama y resistente a la | | 4,94 |
| | Mano de obra | 3,96 | |
| | Materiales | 0,58 | |
| | Medios auxiliares | 0,26 | |
| | 3% costes indirectos | 0,14 | |
| 2.8 | solares compuesta de perfiles de aluminio | | 1064,24 |
| | Mano de obra | 460,26 | |
| | Materiales | 559,29 | |
| | Medios auxiliares | 13,69 | |
| | 3% costes indirectos | 31,00 | |

RAÚL MARTÍNEZ TERÁN

| Capítulo 3: Seguridad y salud | | | |
|-------------------------------|---|---------------|-------------|
| Orden | Designación | Coste parcial | Coste total |
| 3.1 | Elementos de protección necesarios para instalar los equipos en el tejado | | 432,65 |
| | Mano de obra | 95,1 | |
| | Materiales | 324,95 | |
| | Medios auxiliares | 0 | |
| | 3% costes indirectos | 12,60 | |

-4.3 Presupuestos parciales

| Capítulo 1: Acondicionamiento previo | | | | | |
|---|--------|---|----------|----------------|---------------|
| Orden | Unidad | Designación | Cantidad | Precio (Euros) | Total (Euros) |
| 1.1 | Ud. | Unidad de retirada de protecciones en la cubierta de la vivienda y apertura de agujeros con el diámetro necesario para que todo el cableado atravesase la instalación | 1 | 255,36 | 255,36 |
| Total presupuesto acondicionamiento previo: | | | | | 255,36 |
| Capítulo 2: Equipos e instalaciones | | | | | |
| Orden | Unidad | Designación | Cantidad | Precio (Euros) | Total (Euros) |
| 2.1 | Ud. | Módulo Trina solar HONEY BLACK TSM-DD06M DE 315 W e instalación | 10 | 181,99 | 1819,91 |
| 2.2 | Ud. | Inversor Red Growatt MIN 3600 TL-XE | 1 | 879,40 | 879,40 |
| 2.3 | Ud. | Armario de poliester para protecciones | 1 | 132,97 | 132,97 |
| 2.4 | Ud. | Fusibles y protecciones | 1 | 83,14 | 83,14 |
| 2.5 | Ud. | Interruptor automático | 1 | 41,42 | 41,42 |
| 2.6 | Ud. | Interruptor diferencial | 1 | 40,54 | 40,54 |
| 2.7 | m | Cable de cobre de 6 mm ² no propagador de la llama y resistente a la intemperie | 100 | 4,94 | 494,40 |
| 2.8 | Ud. | Estructura para soportar los módulos solares compuesta de perfiles de aluminio | 1 | 1064,24 | 1064,24 |
| Total presupuesto equipos e instalaciones: | | | | | 4556,02 |
| Capítulo 3: Seguridad y salud | | | | | |
| Orden | Unidad | Designación | Cantidad | Precio (Euros) | Total (Euros) |
| 3.1 | Ud. | Elementos de protección necesarios para instalar los equipos | 1 | 432,65 | 432,65 |
| Total presupuesto seguridad y salud: | | | | | 432,65 |

Estudio de viabilidad para la implantación de paneles solares fotovoltaicos
conectados a la red en una vivienda particular

-4.4 Presupuesto final

| Capítulo | Importe (euros) |
|--|-----------------|
| 1. Acondicionamiento previo | 255,36 |
| 2. Equipos e instalaciones | 4556,02 |
| 3. Seguridad y salud | 432,65 |
| Presupuesto de ejecución material (PEM) | 5244,03 |
| 13% Gastos generales | 681,72 |
| 6% Beneficio industrial | 314,64 |
| Presupuesto de ejecución por contrata (PEC=PEM+GG+BI) | 6240,39 |
| 21% IVA | 1310,48 |
| Presupuesto base de licitación (PBL=PEC+IVA) | 7550,88 |

El presupuesto base de licitación asciende a la cantidad de siete mil quinientos cincuenta euros y ochenta y ocho céntimos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://www.miteco.gob.es>
- [2] <https://sotysolar.es/autoconsumo>
- [3] <https://solar-energia.net/energia-solar-termica>
- [4] <https://www.appa.es/appa-minieolica/que-es-la-energia-minieolica>
- [5] <https://www.lavanguardia.com/natural/energia/20200726/482461474433/energia-solar-fotovoltaica-2019-renovables.html>
- [6] Ciencia Ergo Sum Rodríguez-Meza, M. A.; Cervantes-Cota, Jorge L. El efecto fotoeléctrico Ciencia Ergo Sum, vol. 13, núm. 3, noviembre-febrero, 2006, pp. 303-311 Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México.
- [7] <https://anelosolar.com/noticias/ventajas-e-inconvenientes-de-la-energia-solar-fotovoltaica>
- [8] Pablo Bernardo Castro Alonso. (2019) Renewable and Alternative Energies. Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía. Universidad de Cantabria.
- [9] <https://ineldec.com/de-que-estan-hechos-los-paneles-solares-fotovoltaicos>
- [10] <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/tipos>
- [11] <https://www.censolar.org/legislacion-fotovoltaica-es-2019>
- [12] Pablo Bernardo Castro Alonso. (2019) Renewable and Alternative Energies. Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía. Universidad de Cantabria.
- [13] <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- [14] Silvia Sacristán Benito. (2014) Trabajo fin de grado. Instalación solar fotovoltaica - 20 kW para conexión a red. Universidad de Valladolid.